



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# OPTIMALIZACE TEPLoty VYTVRZOVÁNÍ PŘI PRÁŠKOVÉM LAKOVÁNÍ

OPTIMALIZATION OF CURING TEMPERATURE DURING POWDER COATING

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. JAROSLAV BLAŽEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Jaroslav Blažek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Optimalizace teploty vytvrzování při práškovém lakování**

v anglickém jazyce:

### **Optimalization of curing temperature during powder coating**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Vypracovat literární studii zaměřenou na problematiku práškového lakování.
2. Zpracovat návrh experimentu pro proces nanášení a vytvrzování práškového laku - teplotní diagram.
3. Provést a vyhodnotit experimentální práci a zkoušky vytvrzování, přilnavosti, tloušťky a barevného odstínu laku na teplotě.

Cíle diplomové práce:

Experimentální práci ověřit vlastnosti laku na teplotě.

Prokázat vliv teploty na finální vlastnosti práškových laků. Provést zkoušky vytvrzování, přilnavosti, tloušťky a barevného odstínu laku na teplotě.

Seznam odborné literatury:

1. MOHYLA, M. Technologie povrchových úprav kovů. 3vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 2006. 156s. ISBN 80-248-1217-7.
2. SEDLÁČEK, V. Povrchy a povlaky kovů. 1vyd. Praha: Ediční středisko ČVUT Praha. 1992. 176s. ISBN 80-01-00799-5.
3. PODJUKLOVÁ, J. Speciální technologie povrchových úprav I. 1vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 1994. 76s. ISBN 80-7078-235-8.
4. [www.povrchovauprava.cz](http://www.povrchovauprava.cz)

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 12.11.2008

L.S.

---

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá určením optimální vytvrzovací teploty při práškovém lakování. Práce obsahuje literární studii zaměřenou na problematiku práškového lakování. V experimentální části práce bude provedena předúprava a nalakování několika zkušebních vzorků, jejich vytvrzení při různých podmínkách a ověření dosažených vlastností.

### Klíčová slova

Předúprava, práškové lakování, práškové plasty, vytvrzovací teplota, barevný systém, barevná odchylka.

## ABSTRACT

The thesis deals with the determination of optimal curing temperature by powder coating. The thesis includes a literary study of powder coating. In the experimental part of the thesis will be performed pre-treatment and coated several test samples. It will be carried out verification of the properties of powdered coating

### Key words

Surface pre-treatment, powder coating, powder plastic, curing temperature, color systém, color deviation.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BLAŽEK, Jaroslav. *Optimalizace teploty vytvrzování při práškovém lakování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 68 s., 4 přílohy. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubíček.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Optimalizace teploty vytvrzování při práškovém lakování vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který je součástí této práce.

V Brně, dne 20. 5. 2009

.....

Jaroslav Blažek

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto **Ing. Jaroslavu Kubíčkovi** za vedení a cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Děkuji dále **Pavlu Steinerovi** za zprostředkování měření ve společnosti **HP lak s.r.o.** a cenné informace týkající se vytvrzování a složení práškových barev.

**OBSAH:**

<b>ABSTRAKT .....</b>	<b>3</b>
<b>BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....</b>	<b>3</b>
<b>PROHLÁŠENÍ .....</b>	<b>4</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ.....</b>	<b>5</b>
<b>OBSAH:.....</b>	<b>6</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Historie .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Práškové lakování .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Předúprava.....</b>	<b>10</b>
2.1.1 Mechanická předúprava .....	10
2.1.2 Chemická předúprava .....	11
<b>2.2 Prášková barva .....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Rozdělení práškových barev .....	15
2.2.2 Rozdělení termosetických prášků dle použitého pojiva .....	16
<b>2.3 Barevné systémy .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 RAL .....	20
2.3.2 RAL DESIGN .....	21
2.3.3 NCS.....	21
2.3.4 MUNSELL .....	23
2.3.5 Speciální vzorkovnice.....	23
2.3.6 Shodnost odstínů .....	24
<b>2.4 Výroba práškových barev .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5 Technologie nanášení práškových plastů .....</b>	<b>29</b>
2.5.1 Elektrokinetické nabíjení .....	30
2.5.2 Elektrostatické nabíjení .....	31
<b>3. Vytvrzování .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Principy použitého vytvrzování.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2 Typy vytvrzovacích pecí podle způsobu uspořádání.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3 Vytvrzovací podmínky a jejich změna v závislosti na tloušťce materiálu.....</b>	<b>36</b>
<b>4. Experimentální část.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Návrh experimentu .....</b>	<b>38</b>
<b>4.2 Měřicí přístroje a použité postupy měření.....</b>	<b>42</b>
4.2.1 Měření tloušťky povlaku .....	42
4.2.2 Měření přilnavosti .....	44
4.2.3 Měření lesku a barevné odchylky .....	49
<b>4.3 Vyhodnocení vzorků .....</b>	<b>50</b>
4.3.1 Hodnocení jednotlivých vzorků.....	50

4.3.2 Celkové hodnocení vzorků .....	58
<b>4.4 Ekonomické hodnocení vytvrzování.....</b>	<b>60</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>62</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>64</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ .....</b>	<b>67</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>68</b>



## ÚVOD

Diplomová práce se věnuje problému optimalizace teploty vytvrzování při práškovém lakování.

Metoda povrchové úpravy práškovým lakováním je v současné době stále využívanější, především pro výborné vlastnosti práškového povlaku a šetrnosti této metody k životnímu prostředí. Proces vytvrzování, někdy označovaný jako proces zasíťování, je posledním úkonem při tvorbě práškového povlaku. Má tedy bezpochyby zásadní vliv na finální vzhled a vlastnosti celého povlaku. Je také energeticky i časově nejnáročnější částí celého procesu práškového lakování, proto mu musí být věnována zvláštní pozornost.

Práce se skládá z teoretické a praktické části. V teoretické části jsou popsány druhy předúprav vhodných před práškovým lakováním. Následuje rozbor technologií pro nanášení práškových barev a jednotlivé způsoby jejich vytvrzování. V části zabývající se samotnými práškovými barvami je způsob jejich výroby, jejich složení a barevné systémy využívané pro odstíny práškových barev. Součástí této kapitoly je popis metody pro měření barevné odchylky barev.

V experimentální části práce je zpracován experiment pro stanovení optimálních metod a podmínek pro předúpravu, přes proces nanášení práškové barvy, až po její vytvrzování.

V další části bude proveden pokus ověření závislosti výsledných vlastností povlaku na podmínkách vytvrzování. Měřítkem pro hodnocení vlastností povlaku bude přilnavost, jednotky dosaženého lesku a změna barevného odstínu. Hodnoty budou porovnávány s hodnotami uváděnými v technickém listu výrobce barvy při výrobcem doporučených podmínkách vytvrzování.

Výsledkem bude zhodnocení, jakých naměřených hodnot barva dosahuje v závislosti na dodržení předepsaných vytvrzovacích podmínek a zdůvodnění vzniku odchylek vzniklých při nedostatečném nebo naopak nadměrném vytvrzení.

Poslední částí experimentální práce bude ekonomické hodnocení vytvrzování, pro práškové barvy s odlišnými délkami vytvrzování.

## 1. HISTORIE

Historie práškového lakování sahá do konce 40-tých a počátku 50-tých let minulého století. V této době byly organické polymery v práškové barvě zároveň stříkány na kovové podklady. Německý vědec Dr. Erwin Gemmer tehdy vyvinul metodu nanášení práškové barvy ve fluidním loži, která sloužila pro zpracování duroplastických práškových barev a v květnu 1953 mu byl zaregistrován patent pro tuto technologii.

V letech 1958 až 1965 bylo práškové lakování využíváno zpravidla jen pro funkční použití s vrstvami nánosu od 150  $\mu\text{m}$  do 500  $\mu\text{m}$ . Využívala se pouze metoda nanášení práškové barvy ve fluidním loži. Nejdůležitějšími vlastnostmi těchto povlaků byla elektrická izolace a odolnost proti korozi a otěru. Nanášené materiály tehdejší doby se skládaly z Nylonu 11, polyethylenu, měkčeného polyvinylchloridu, polyesteru, případně chlorovaného polyethylenu. Ve stejné době se objevily i duroplastické epoxidy využívané především jako izolační materiál. Firma Bosch při hledání vhodného izolačního materiálu pro elektrotechniku vyvinula základní typ epoxi-pryskyřičného prášku.

Mezi lety 1962 a 1964 byla ve Spojených státech amerických vyvinuta nová a mnohem lépe průmyslově využitelná technologie nanášení práškových plastů. Firma Sames představila elektrostatické pistole, které využívaly dodnes používaného principu nanášení prášků elektrostatickým nabíjením. To odstranilo největší nevýhodu nanášení ve fluidních vanách, kterou byla velmi silná vrstva naneseného povlaku.

Od roku 1966 až do roku 1973 byly vyvinuty a postupně uvedeny na trh 4 základní typy práškových barev využívané až do současné doby. Jsou jimi epoxid, epoxi-polyester, polyuretan a polyester.

Počet práškových lakoven jen v Německu stoupl ze 4 v roce 1966 na 51 v roce 1970. I při srovnání roční produkce je vidět výrazný nárůst využití této technologie. V roce 1960 evropská roční produkce práškových barev činila přibližně 200 tun. Do roku 1996 vzrostla produkce v Evropě na více než 1000 krát. Celosvětová produkce v tomto roce dosáhla na více než 650 000 tun. V České Republice se roční spotřeba v roce 2000 pohybovala kolem 7000 tun.

Na různých kontinentech se přitom barvy vyvíjely různými směry. V Evropě se dnes využívají venkovní práškové barvy postavené především na polyesterových pojivech, zatímco ve Spojených státech amerických jsou práškové barvy pro venkovní využití nejčastěji na bázi polyuretanů. Evropskou velmocí v počtu výrobců i v počtu vyprodukovaných tun práškových barev je Itálie. [8]

Nebývalý rozmach práškového lakování byl ovlivněn i vývojem aplikačních technologií a ve stále větším měřítku aplikovaných omezení v rámci ochrany

životního prostředí. Všechny tyto faktory zaručují pokračování tohoto trendu i v následujících desetiletích. [4,21]

## **2. PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ**

Proces práškového lakování můžeme rozdělit na tři základní operace. První je předúprava, dále následuje samotná aplikace práškové barvy na lakovaný dílec a posledním úkonem je vytvrzení barvy za vhodných vytvrzovacích podmínek.

### **2.1 Předúprava**

Předúprava má zásadní vliv na životnost celého nátěru. Nejdůležitějším úkolem předúpravy je vytvoření odpovídající konverzní vrstvy, která bude zaručovat adhezi mezi vlastním povrchem a naneseným práškovým povlakem. Dalším úkolem je zvýšení protikorozní odolnosti lakovaného dílce. Předúpravu lze ze základního hlediska rozdělit na:

- mechanickou
- chemickou

#### **2.1.1 Mechanická předúprava**

Úkolem mechanické předúpravy je odstranění mechanických nečistot ulpělých na povrchu dílce z předcházejících procesů výroby, svařování či jiného zpracování. Na povrchu výrobku mohou přetrvávat okuje, rez, struska a podobně, které je třeba před provedením povrchové úpravy odstranit. [2,4]

- **Omílání**

Omílání je vhodné především pro členité nebo drobné výrobky. Omílat můžeme v bubnech nebo průběžně. Jako médium pro omílání se používá křemenný písek, ocelové broky nebo kamenné oblázky. Nejúčinnější jsou korundová tělíska nebo plastová tělíska plněná abrazivem. Nutnou složkou pro omílání je vhodný chemický přípravek, který převede částice omletého materiálu do suspenze a čistí tak povrch výrobku i povrch

omílacích tělísek. Jeho další funkcí může být také odrezování či odmašťování. [1]

- **Tryskání**

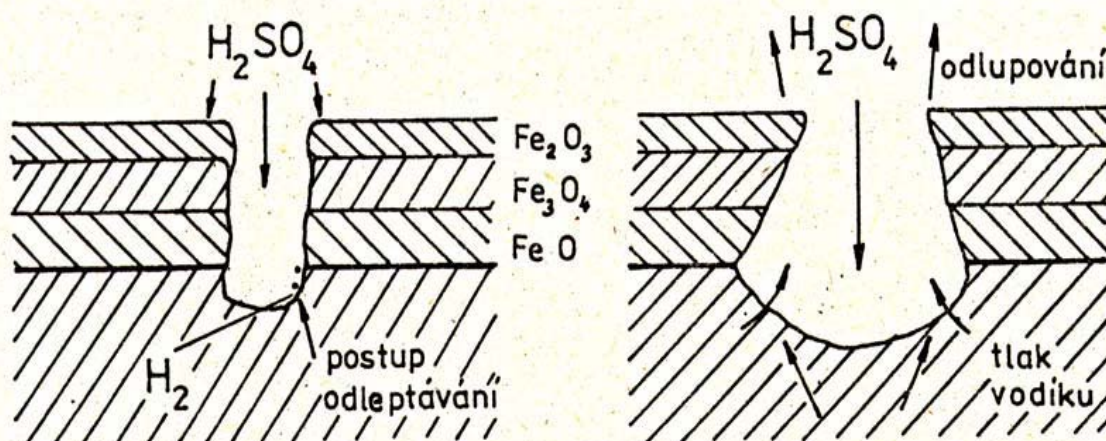
Tryskání je postup opracování povrchu dílce proudem jemných částic. Je tím dosaženo odstranění nečistot, koroze a zdrsnění podkladu. Zdrsnění povrchu výrazně zlepšuje přilnavost pro práškové plasty, ale může zvyšovat náchylnost ke korozi. Přílišné zdrsnění je nežádoucí, protože vrcholky struktury tryskaného podkladu jsou zakryty jen malou vrstvou barvy. Používané tryskací materiály jsou křemičitý písek, ocelové broky, sekaný drát, korund, ale mohou to být také drtě z ovocných pecek, plasty, sklo nebo struska. Vždy musíme brát ohled na to, jaký materiál budeme tryskat jakým tryskacím materiálem. Nedoporučuje se ocelový tryskací materiál k tryskání hliníku, který by mohl vyvolat vznik korozního makročlánku a nastartovat tak korozi hliníku. Pro tryskání hliníku je nejvhodnější korund nebo křemičitý písek. Velikost částic tryskacího materiálu je 0,4 - 0,8 mm a používáním se zmenšuje. Proto jsou drobné částice oddělovány spolu s otryskaným odpadem v cyklonech. [4]

### 2.1.2 Chemická předúprava

Primárním úkolem chemické předúpravy je odstranění mastnot, solí a prachu z povrchu lakovaných dílců. Sekundárními úkoly může být vytvoření chemické vrstvy pro lepší přilnavost materiálu.

- **Moření**

Moření je chemické odstraňování korozních produktů a okujů z ocelí, hliníku, zinku a jiných kovů pomocí kyselin či hydroxidů. Kromě nečistot se mořením rozpouští také samotný kov a vniká vodík a rozpustné soli (obr. 3.1). Soli se odstraní oplachem, ale atomární vodík vniká mimo jiné do krystalické mřížky mořeného materiálu, koncentruje se a může se následně uvolňovat při vypalování barev. Moření trvá podle použité kyseliny (na ocel, měď, zinek) či hydroxidu (pro zinek, hliník) několik sekund až minut. Například FeO se nejlépe rozpouští v kyselině sírové o koncentraci 8 – 14 %, při pracovní teplotě 60 - 80 °C. Doba moření je 5 až 10 min. [7]



Obr. 3.1 Rozpouštění oxidů železa v kyselině sírové a odtrhávání okují vodíkem [7]

#### • Alkalické odmaštění

Pro alkalické odmaštění se používají nejčastěji prostředky obsahující hydroxid sodný, uhličitan sodný, křemičitany nebo uhličitany ve spojení se smáčedly tzv. tenzidy. Roztok musí mít dostatečnou alkalitu, aby nedošlo k hydrolýze mýdla, to zabezpečí hodnota pH vyšší než 10,2. Koncentrace účinných látek v roztoku se pohybuje kolem 10 %. Teploty dosahují 40 až 70 °C po dobu 1 - 20 minut. Vše závisí na stupni znečištění podkladu. Mastnota v roztocích emulguje a má snahu se opět usazovat na hladině zásobních nádrží, ze kterých je potřeba ji odstraňovat. Účinnost odmašťování se může snížit, když se použije tvrdá voda. Ta se někdy upravuje fosfáty jako u pracích prášků. Při odmaštění ponorem je důležité zajistit účinné proudění kapaliny, při postřiku zase to, aby se netvořila pěna. Po obou musí následovat oplach. Pro potřeby kvalitního oplachu by měla být používána demineralizovaná voda (tzv. demivoda). Vodivost vody by neměla překročit hodnotu  $G=50 \mu S$ . Důvodem je fakt, že běžná voda z vodovodního řádu obsahuje minerální látky a příměsi především ve formě solí. A právě usazené soli na výrobku jsou nežádoucím jevem kvalitní předúpravy. Povlak soli nemusí být na první pohled okem viditelný, přesto může snížit přilnavost práškové barvy, způsobit vady povrchu a ovlivnit tvorbu koroze pod nanesenou vrstvou práškové barvy. [3,4,17]

#### • Odmaštění organickými rozpouštědly

Tato velmi rozšířená metoda se používá hlavně tam, kde není možné použít pro odmaštění alkalické roztoky. Organická rozpouštědla rozpouštějí

mastnoty a tím uvolňují i další nečistoty. Ideální rozpouštědlo by mělo rozpouštět všechny druhy nečistot, být stálé a lehce regenerovatelné. Tato odmašťovadla se dají regenerovat destilací. Dnes jsou na trhu různé typy, od technického benzínu, který ve spojení s hadrem je nepříliš účinný a velmi neekologický, přes halogenované uhlovodíky užívané v mycích stolech, až po uzavřené systémy odmašťování v parách rozpouštědel, kde páry odmašťovadla kondenzují na výrobku, strhávají mastnotu, padají zpět do lázně a znovu se destilují. [4]

- **Emulzní odmašťování**

Uspoří množství organických rozpouštědel a funguje tak, že současně nebo ihned po sobě na předmět působí organické rozpouštědlo (benzín, petrolej, ropné frakce) a vodní fáze s emulgátory a smáčedly. Lze je provádět ponorem i postřikem. Je technologicky náročnější, protože emulze nejsou příliš stabilní a jsou náročné na likvidaci. [1,4]

- **Odmašťování ultrazvukem.**

Ultrazvuk má poměrně značnou energii, která se šíří prostorem ve formě podélného vlnění. Účinkem ultrazvuku dochází v kapalině k jevu, který se nazývá kavitace. Zjednodušeně by se dalo říct, že jde o mikroskopické bublinky vakua, které se prudce rozpínají a v zápětí opět impludují. To se děje na rozhraní pevné látky a kapaliny, tedy na povrchu dílce ponořeného do ultrazvukové lázně. Výsledkem je silný mechanický účinek, uvolňující mastné látky a ulpělé mechanické nečistoty. Jako roztoky se používají alkalická, tenzidická, emulzní či organická rozpouštědla a ultrazvukem se dosáhne podobných výsledků jako při jiných způsobech odmaštění, ale za podstatně kratší dobu při nižší teplotě lázně. [7,18]

- **Odmašťování horkou párou**

Využívá se na rozměrné výrobky, které se nevejdou do lázní, nebo postřikových komor. Ofukováním párou se nečistoty teplem a tlakem páry ve spojení s tenzidy emulgují a zkondenzovanou vodou jsou odplavovány. Při vyšší teplotě je vyšší riziko koroze materiálu, proto se přidávají fosfatizační nebo pasivační prostředky a následovat musí oplach. [4]

- **Opalování**

Tento způsob lze použít u výrobků, které se nebudou teplem deformovat. Mastnoty se dají v ideálním případě spálit pouze na plynné zplodiny, většinou zůstane na povrchu vrstvička amorfního uhlíku. Při vysokých teplotách se mohou mastnoty také vpálit do kovového povrchu a jejich zplodiny jsou pak jen velmi těžko odstranitelné. Proto se doporučují nižší teploty a dodatečné odstranění vzniklého uhlíku. Pro odstranění lehkých nečistot stačí 300 °C, pro větší znečištění až 700 °C. [3,4]

- **Postřik vysokotlakou vodou**

Postřik vysokotlakou vodou v kombinaci s tensidy či fosfáty je mechanickým a účinným způsobem. Pracuje se s tlaky 2 - 3 MPa. Používají se neemulgační odmašťovací a fosfatizační přípravky v kapalném stavu. Odstraňují mastnoty z povrchu oceli a vytváří na povrchu modrozlutou vrstvu fosforečnanu železnatého. Koncentrace nasazení je 1,25 %obj. Teplota kapaliny při procesu je 50 - 60°C. [4]

- **Elektrolytické odmašťování**

Základní princip elektrolytického odmašťování spočívá v zapojení odmašťovaného dílce jako katody v alkalickém roztoku. Použijeme co největšího stejnosměrného proudu. Vlivem elektrolýzy se na dílci vytvoří silně alkalická zóna o vysoké aktivitě a zároveň nastane silný vývoj vodíku. Vyvíjející se vodík je silně reaktivní a redukuje tenké vrstvy oxidů, tím dochází k odtrhávání filmů ulpělých na povrchu. Elektrolytické odmašťování dále využívá mechanického působení unikajících bublinek plynů na elektrodě. Protože bublinky unikají na obou elektrodách, může dojít k vyčištění ocelových předmětů jak v anodickém, tak v katodickém cyklu. [3,4]

- **Chromátování**

Chromátováním se nazývají procesy chemické úpravy povrchu, při kterých vzniknou vrstvy vytvořené při oxidaci v kyselině chromové. Základem vzniklých pasivačních vrstev je většinou dichroman draselný  $K_2Cr_2O_7$ . Vzniklé vrstvy chrání kov před lehkým korozním namáháním a hlavně zlepšují přilnavost základního materiálu k nanášení organických povlaků. Základní materiál se nejdříve řádně odmastí a pak se na krátkou chvíli (několik desítek sekund) ponoří do chromatovací lázně. Po vyjmutí se osuší. Povlak je zbarven žlutě, modře, zeleně, černě, popřípadě je to bezbarvý chromát. Chromátují se zinkové a pozinkované předměty, kde na povrchu vznikne vrstva chránící zinkový

povrch před atmosférickou korozí. Chromátování se využívá jako povrchová úprava především před práškovým lakováním hliníku. [4,5,7,]

## 2.2 Prášková barva

Prášková barva je pro své specifické vlastnosti a technologii nanášení řazena do segmentu jednovrstvých průmyslových nátěrových hmot. Svými stavebními prvky je blíže k plastům než ke klasickým nátěrovým hmotám, proto je nejpresnějším názvem práškový plast.

### 2.2.1 Rozdělení práškových barev

Na základě způsobu vytvrzování rozlišujeme mezi dvěma druhy práškových plastů a to termoplasty a termosety.

- **Termoplasty**

Termoplasty jsou takzvané vratné plasty, které z tuhého stavu opětovně přecházejí do plastického stavu. Jsou to plasty na bázi polyvinylchloridu nebo polyetylenu určené především pro ponorové (fluidní) nanášení. Pro jejich nevýhodné vlastnosti, jako je například poměrně vysoká viskozita tavení, jejíž zásluhou je konečná tloušťka vrstvy vždy větší než 100  $\mu\text{m}$  a omezené možnosti tepelné zátěže, mají tyto barvy velmi omezené spektrum použití. [4]

- **Termosety**

Termosety tzv. reaktoplasty jsou nevratné plasty, které se působením tepla chemicky zasítovávají a tím ztrácejí své počáteční plastické vlastnosti. Zasítování probíhá jednou z chemických reakcí, polyamidací nebo polykondenzací. Nesporná výhoda termosetických práškových plastů je nízká teplota vytvrzování od 120  $^{\circ}\text{C}$  až 200  $^{\circ}\text{C}$ , která je předurčuje k využití v povrchových úpravách v podobě dnes dobře známých práškových barev. [4,17]



### 2.2.2 Rozdělení termosetických prášků dle použitého pojiva

- **Epoxidy (EP)**

Epoxidové barvy se skládají z pevné epoxidové pryskyřice, vhodných tvrdidel, aditiv a barevných pigmentů. Nosičem jsou epoxidové pryskyřice. Epoxidové barvy se vyznačují velmi dobrou přilnavostí na různé povrchy, odolností proti rozpouštědlům, kyselinám, louhům a v neposlední řadě díky nízké viskozitě tavení vynikajícím rozlivem. Další výhodou je vysoká odolnost proti otěru. Nevýhoda těchto barev je nulová ochrana před UV zářením. Degradace se při působení UV záření projevuje křídovatením. Křídovatení je zmatnění povrchu a zároveň rozklad polymerního filmu, což má za následek ztenčování vrstvy barvy a může dosáhnout až 10  $\mu\text{m}$  za rok. Další nevýhodou je náchylnost na přepálení. Ta se projevuje především u bílých odstínů, kde dochází k zežloutnutí barvy. Podmínky pro vypalování jsou od 160 °C/20min až do 200 °C/5min. Použití v dnešní době je téměř pouze v oblasti funkční, například v elektroprůmyslu nebo pro povrchovou úpravu armatur. Další oblastí použití jsou interiéry a prostředí s nízkými nároky na korozní ochranu. [4,6,8]



Obr. 3.2 Příklad použití Epoxidů – kancelářské potřeby

- **Epoxi-polyestery**

Epoxi-polyestery bývají označovány jako hybridy nebo mixy. Skládají se z kombinace epoxidových a polyesterových pryskyřic v poměru od 30:70 až 50:50 od epoxidových pryskyřic k polyesterovým. Přesný poměr míchání se stanovuje podle speciálních požadavků zákazníků a oblasti použití. Tyto

hybridní prášky mají lepší stabilitu proti zežloutnutí při vytvrzování a menší tendenci ke křídovatění pod vlivem UV záření. Nevýhodou proti epoxidovým barvám je jejich menší odolnost proti chemikáliím a rozpouštědlům. V současné době je to nejvíce používaná dekorativní povrchová úprava výrobku. Oblast použití je opět především v interiérech s možností krátkodobého vystavení povětrnostním vlivům. [4,6,18]

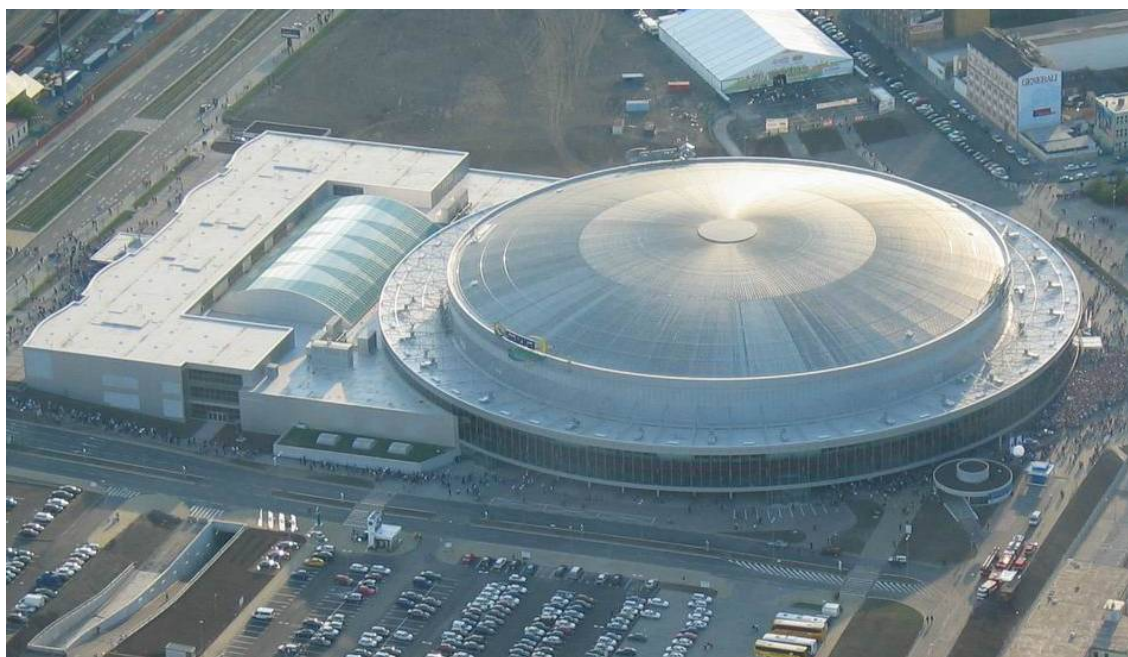


*Obr. 3.3 Příklad použití Epoxi-polyesterů – elektrorozvaděč [17]*

- **Polyestery (PES)**

Jsou určitým typem polyesterové pryskyřice v kombinaci s příslušným tvrdidlem. Tento typ prášku se vyznačuje výbornou odolností proti vlivům venkovního prostředí. Dále se vyznačuje dobrou stabilitou proti zežloutnutí a velmi dobrou aplikovatelností. Podmínky pro vytvrzování jsou od

160 °C/15min do 200 °C/5min. V minulosti se při výrobě polyesterových prášků používaly polyesterové pryskyřice v kombinaci s tvrdidlem TGIC, neboli triglycidylisocyanurátem, který pro své mutagení vlastnosti byl v 90. letech nahrazen toxicky nezávadnou třídou B-hydroxyalkylaminů. Výrobci jsou povinni barvy s obsahem 0,1 TGIC označit. Dnes je u většiny polyesterových práškových barev používána pryskyřice bez TGIC. Oblast použití barev je především ve venkovním prostředí. [6,18]



*Obr. 3.4 Příklad použití fasádních polyesterů – O2 Aréna Praha [17]*

- **Polyuretany (PUR)**

U polyuretanových barev slouží jako báze polyesterová pryskyřice, která se zasíťovává s různými typy tvrdidel prostřednictvím adiční reakce. Tento typ prášku se vyznačuje velmi dobrou odolností pro vlivům venkovního prostředí a velmi pěkným rozlivem. Pro vytvrzování je nutná teplota od 180 °C. Oblast použití je shodná s polyesterem, tedy především venkovní prostředí. Výhodou polyuretanových pryskyřic je jejich velmi dobrá čírost, lze je tedy využít pro výrobu transparentních laků.

- **Akryláty**

Akryláty jsou relativně novou skupinou výrobků, kde se jako báze používají akrylátové pryskyřice zasítované různými tvrdidly. Akrylátové barvy mají nesporné výhody i nevýhody. Hlavními důvody proč se dříve akrylátové prášky příliš nepoužívaly, jsou nesnesitelnost s ostatními prášky, několikanásobně vyšší cena než u polyesterů a nemožnost skladování za normálních podmínek (vysoká reaktivita). Pozitivní vlastnosti jsou dokonalý rozliv povrchového filmu jako u mokrých barev, brilantní lesk a abnormální odolnost proti venkovnímu prostředí. Porovnáním výhod a nevýhod zjistíme, že akrylátové prášky mají uplatnění pouze pro speciální použití jako např. v automobilovém průmyslu. První použití v automobilovém průmyslu uskutečnil Harley-Davidson. V současné době se u firmy Daimler - Chrysler běžně povrchově upravuje akrylátovým práškem ocelová karosérie známého městského vozítka Smart. [4,6,18]



*Obr. 3.5 Příklad použití akrylátů – Harley-Davidson [13]*

## **2.3 Barevné systémy**

Při specifikaci požadavku na jakoukoliv povrchovou úpravu je jedním ze základních parametrů odstín povrchu po provedení povrchové úpravy. Dalšími parametry mohou být jednotky lesku povrchu, metalický nebo strukturní efekt atd. Na trhu práškových barev v České Republice i Evropě je jednoznačně nejpoužívanější vzorkovnice podle RAL. Další používané koloristické systémy

jsou např. RAL DESIGN, NCS, MUNSELL, PANTONE a BRITISH STANDART BS 381 c. Samotné označení odstínu určuje vždy jen barvu povrchu. Nemá žádný vliv na vzhled povrchu, lesk či mat ani strukturu povrchu. [4]

### 2.3.1 RAL

Označení RAL je zkratkou Reichsausschuss fuer Lieferbedingungen (Říšský výbor pro dodací podmínky). Systém RAL odstínů byl vyvinut v Německu v roce 1925 za účelem přesně definovat prodejní parametry barev. Jednotlivé barvy byly od roku 1927 postupně definovány Německým Institutem pro záruku a označení zboží (Deutsches Institut fuer Guetesicherung und Kennzeichnung). Z počátečního počtu 40-ti barev se vzorník rozrostl až na dnešních 210. Věrnost barev je dána původními vzory barev z RAL Institute. Nejznámější a nejpoužívanější provedení této vzorkovnice typ K-7 obsahuje 210 odstínů. Další v současné době používané provedení vzorkovnice je K-5. Čísla odstínů RAL jsou čtyřmístná, přičemž na druhém místě je vždy číslice 0, např. 1021, 5002 nebo 9003. Podle první číslice určuje skupinu odstínů. Koloristický systém RAL, někdy také nazývaný RAL CLASSIC se používá především pro určování odstínů v průmyslové výrobě, např. pro ocelové konstrukce, strojní zařízení nebo při výrobě nábytku. [4,11]



Obr. 3.6: Vzorník RAL – provedení K-7

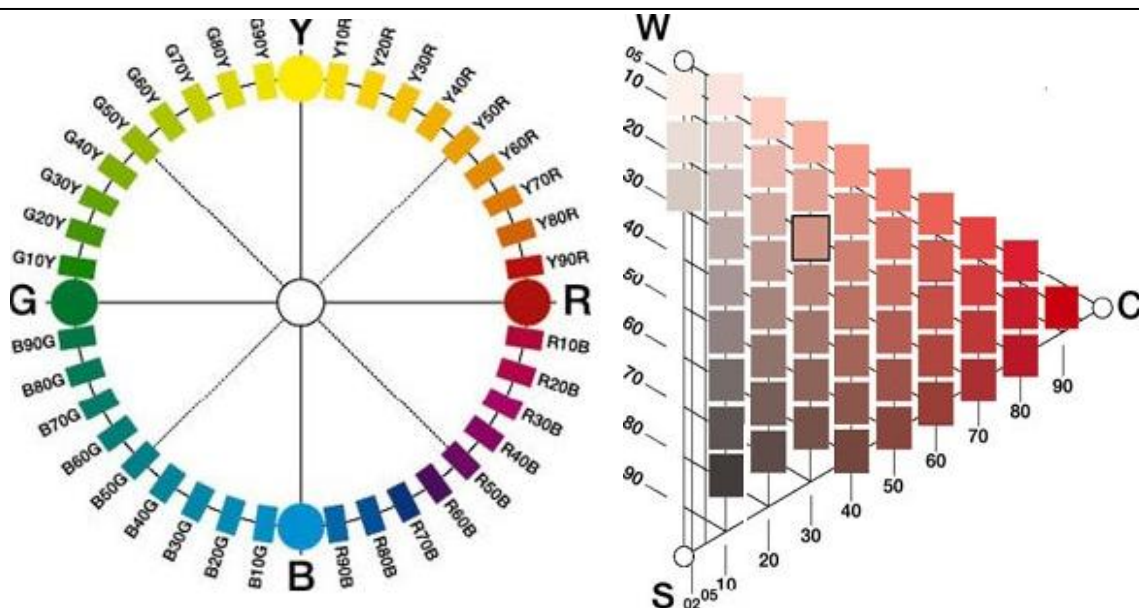


### 2.3.2 RAL DESIGN

Tento koloristický systém vznikl po několikaletém vývoji, kterého se účastnila řada vědců z různých vědních oborů. Byl představen v roce 1993 a prezentuje 1688 především světlých a pastelových barev. Odstíny ze vzorníku RAL CLASSIC nejsou v tomto koloristickém systému obsaženy. Značení RAL DESIGN odstínů je sedmimístné, se dvěma mezerami, např. 060 80 20. První trojčíslí udává odstín (v rozmezí 010-360 jako jdou za sebou shora listy vzorkovnice), další dvě čísla jas odstínu (20 - velmi tmavý až 90 - velmi světlý) a poslední dvě jsou sytost odstínu (05 - téměř nebarevný až 90 - sytý odstín). Odstíny RAL DESIGN jsou vhodné především pro určování komplexního barevného řešení stěn v interiérech bytových, občanských, ale i průmyslových staveb. Z široké barevné škály je možné tónovat fasádní nátěrové hmoty, ale také většinu průmyslových barev. [4]

### 2.3.3 NCS

Natural Color System je velice pečlivě připravený barevný systém vypracovaný na základě vyhodnocení velkého množství subjektivních vyjádření pracovníků z oblasti vědy, architektury, psychologie, módního návrhářství a výsledků objektivního měření barevnosti. Nejde tedy o pouhý velký soubor očíslovaných odstínů. Systém vznikl ve skandinávských zemích a vychází ze šesti základních odstínů – bílé, černé, žluté, červené, modré a zelené. Základem je „barevný prostor“, kde na centrální svislé ose jsou všechny odstíny šedé od bílé W (nahore) po černou S (dole). V terminologii NCS mají tyto odstíny označení N (neutral), nebo v číselném vyjádření mají nulovou hodnotu barevnosti. Vzdálenost od svislé osy vyjadřuje jas. Úhel ve vodorovné rovině barevného prostoru určuje polohu odstínu mezi čistým žlutým, červeným, modrým a zeleným odstínem (barevný kruh NCS). Při tom všechny číselné údaje jsou uváděny v rozmezí 0 až 100 %, standardní je odstupňování po 10 %.



Obr. 3.7 Barevné spektrum systému NCS [17]

Čísla NCS jsou kombinací čísel a písmen, např. 2030-R nebo 2030-Y90R. Pro tento odstín uvedu případ definice:

- 20 - jedná se o odstín s 20 % „přídavkem“ černě
- 30 - jedná se o odstín na 30 % vzdálenosti mezi šedou osou a maximální hodnotou jasu
- Y90R - značí, že se jedná o odstín složený z 10 % žlutě (Y) a 90 % červeně (R).

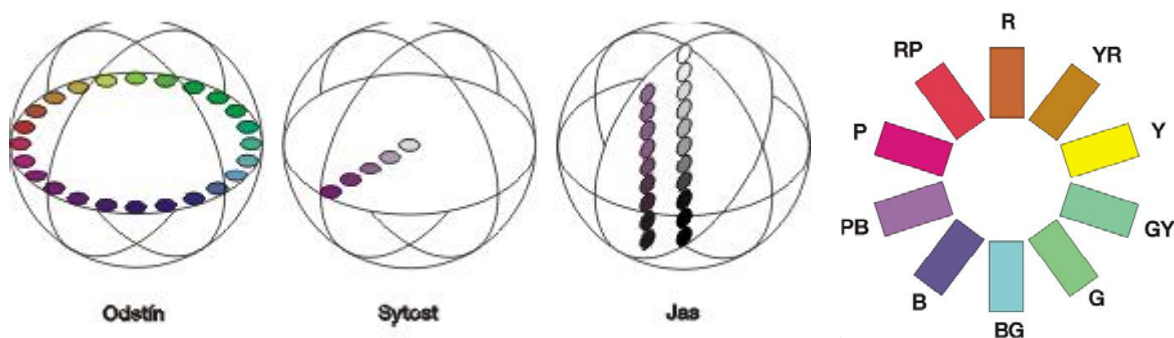
Tímto způsobem lze definovat prakticky všechny přírodní odstíny s výjimkou fluorescenčních pigmentů. Tato definice odstínu umožňuje představit si alespoň přibližně odstín, aniž bychom měli k dispozici příslušný barevný vzorník. Barevný systém NCS je ideální systém pro komunikaci o barvách mezi nejrůznějšími odvětvími lidské činnosti. Barevné předlohy jsou vytvořeny natíráním pečlivě vyvinutou a definovanou nátěrovou hmotou na definovaném papíře. Tato technologie neupřednostňuje žádný obor a proto je systém NCS vhodný pro oblast textilu, stejně jako pro nátěrové hmoty, architekturu, reklamu atd. Příkladem je zadání pro architekta k vyřešení interiéru hotelu, kde má mít stejný odstín nábytek, zárubně, ubrusy nebo ložního prádlo. [10,18]



Obr. 3.8 Barevný vzorník systému NCS [18]

### 2.3.4 MUNSELL

Munsell je další ve své podstatě předcházejícím systémům podobná metoda pro identifikaci odstínů vycházející z lidského vnímání barev. Je rozšířený především ve spojených státech a Kanadě. Munsellův atlas barev je uspořádán tak, že každý jeho barevný vzorek má své specifické alfanumerické označení. Toto označení vychází z předpokladu, že každou barvu je možné popsat třemi atributy: odstínem (H – hue), světlostí (V – value) a čistotou (C – chroma) v uzanci H V/C. Odstíny jsou uspořádány do kruhu, který je členěn na 100 odstínů, z nichž je deset hlavních (pět základních odstínů podle Munsella – Red, Yellow, Green, Blue a Purple a pět směsných odstínů – Yellow-Red, Green-Yellow, Blue-Green, Purple-Blue a Red-Purple. Barevný kruh tohoto systému má 10 sektorů, které prostorově kombinované s jasnem a sytostí dávají výsledný nepravidelný prostor, protože prakticky dosažitelné sytosti některých odstínů jsou omezené. Například listová zeleň má v Munsellově značení hodnotu 5 GY 4/4. [10]



Obr. 3.9 Barevný systém Munsell [17]

### 2.3.5 Speciální vzorkovnice

Většina výrobců barev produkuje své speciální vzorníky. V těchto vzornících jsou uvedeny nestandardní odstíny barev, které nemůžeme zařadit



do žádné z výše uvedených vzorkovnic. Jedná se především o specifické barvy, které byly míchány na přání zákazníka a výrobce umožní jejich dodávání i ostatním odběratelům. Často se jedná o různé varianty metalických odstínů, kde je jako základ použit odstín ze vzorkovnice RAL a je doplněn o metalický efekt. Dalšími užívanými efekty jsou nestandardně strukturní nebo antikový efekt.



Obr. 3.10 Speciální vzorkovnice komaxit®

### 2.3.6 Shodnost odstínů

I přes maximální snahu výrobců dosáhnout přesně stejného odstínu, jako má vzorový odstín – etalon, dochází k odchylkám. Pro sledování těchto odchylek se výborně hodí právě metoda CIELab, která je důležitou a všeobecně přijímanou metodou pro hodnocení rozdílu barev. Pro zjišťovanou odchylku  $\Delta E$  platí, že čím je větší, tím znatelnější bude rozdíl v barevném odstínu. Proto tato hodnota při hodnocení vyrobené barvy proti etalonu požadovaného odstínu - nesmí být většinou větší než 1,0. Nedá se ale přesně definovat jako jediný parametr pro hodnocení odstínů, protože lidské oko vnímá u různých odstínů velikost odchylky s různou citlivostí. Někdy lze hodnotu  $\Delta E$  1,0 překročit, aniž by byl rozdíl znatelný, někdy naopak mezní hodnota pro reprodukci odstínu

dosahuje  $\Delta E$  0,5. To je již hodnota blíží se maximálním současným technickým možností s jakou přesností lze při výrobě pracovat. [4,17]

CIELab vyjadřuje odstín v barevném prostoru pomocí souřadnic pod daným typem osvětlení. Je to jedna z metod měření odstínu fotospektrometry, která v praxi velmi dobře splňuje nároky na sledování kvality odstínů, jejich přesné definování a přenos.

Fotospektrometr je měřicí přístroj k určení jednotlivých souřadnic. Každý odstín má jednoznačně nadefinované souřadnice, a je snadné jeho porovnání např. s další výrobou stejného odstínu, která musí splňovat mezní hodnoty  $\Delta E$ , což je odchylka vyjádřená jako druhá odmocnina součtu čtverců jednotlivých odchylek L, a, b.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3.1)$$

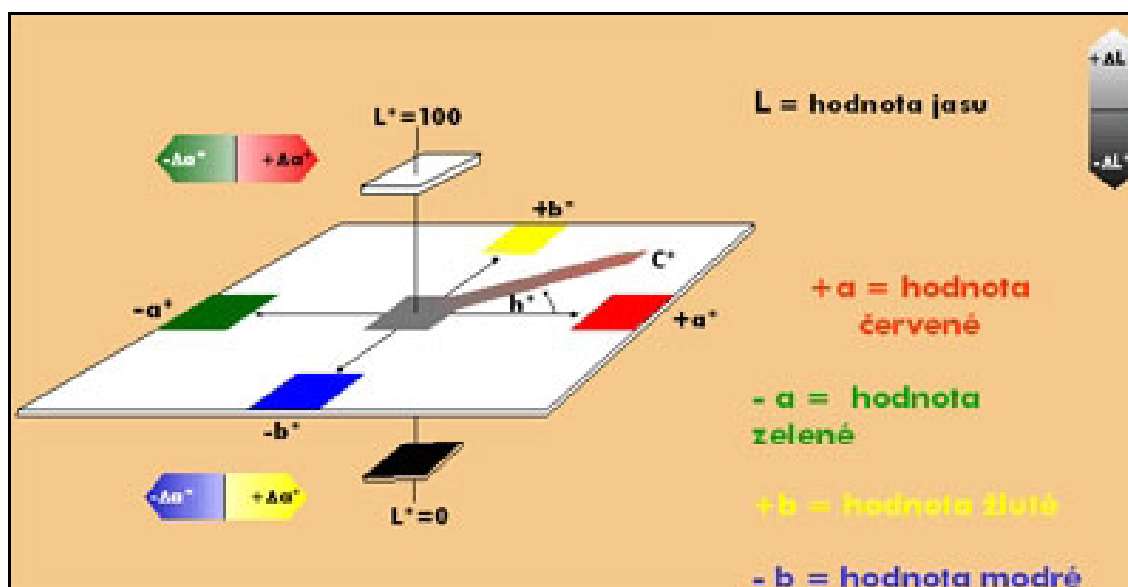
L.... hodnota jasu

a..... + a – hodnota červené

- a – hodnota zelené

b.... + b – hodnota žluté

- b – hodnota modré



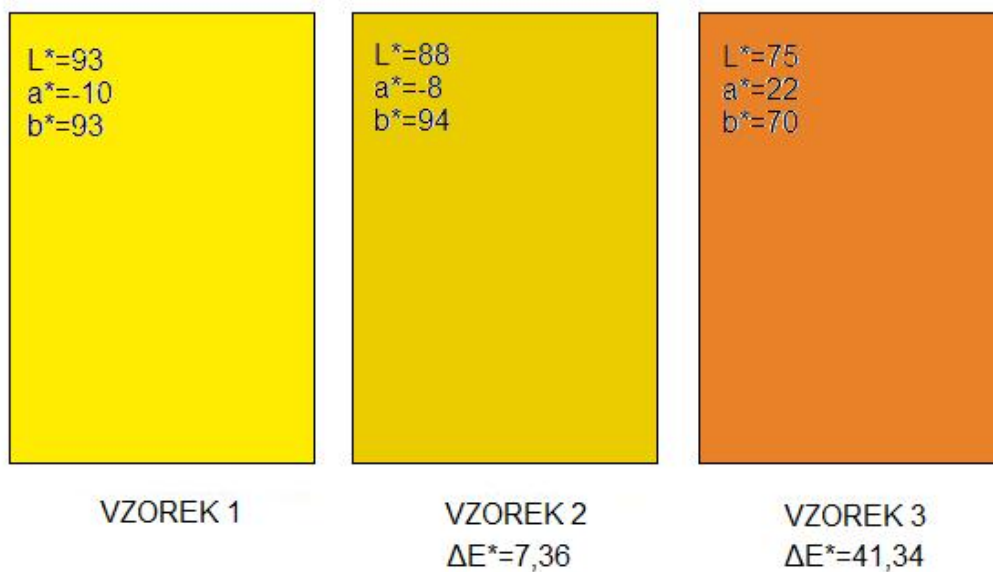
Obr. 3.11 Barevný systém CIELab [17]

Obecně pro barevnou odchylku  $\Delta E$  platí, že její hodnoty lze pojmenovat následovně:

*Tab. 3.1 Tabulka hodnocení barevné odchylky [17]*

Velikost $\Delta E$ :	Popis:
0,0 - 0,2	téměř nepostřehnutelná
0,2 - 0,5	velmi slabá
0,5 - 1,5	slabá
1,0 - 2,0	rozeznatelná
1,5 - 3,0	jasně postřehnutelná
2,0 - 4,0	ještě nerušící
4,0 - 8,0	mírně rušící
6,0 - 12,0	výrazná až velmi výrazná
12,0 a více	rušící

Příklad zobrazení odchylky  $\Delta E$ :



*Obr 3.12 Zobrazení barevné odchylky*

Odchylka  $\Delta E$  je metoda hodnocení rozdílu barev využívaná v mnoha dalších odvětvích. Podle její velikosti se hodnotí kvalita zobrazení monitorů, shoda odstínů barev, nátisku a výsledného tisku a podobně. Především u světlých odstínů se může stát, že hodnota  $\Delta E$  mezi dvěma vzorky je malá (do 1,0), ale přesto je již okem dost viditelný rozdíl, protože vzorky proti sobě mají malé odchylky ve dvou ze tří souřadnic, na úkor té třetí. Proto se v praxi hodnotí nejen tímto kolorimetrickým systémem, ale navíc ještě pomocí přesnějšího výpočtu z hodnot L, a, b, CMC 2:1, který vychází z deformovaného, ale bližšího lidskému vnímání prostoru. Každá hotová vyrobená barva se hodnotí také vizuálně pod různými typy osvětlení proti etalonu a poslední vyrobené šarži. Tímto způsobem, respektive kombinací několika různých objektivních i subjektivních metod je zaručeno, že zákazníkovi bude vždy dodána odpovídající barva. [4,17]

## 2.4 Výroba práškových barev

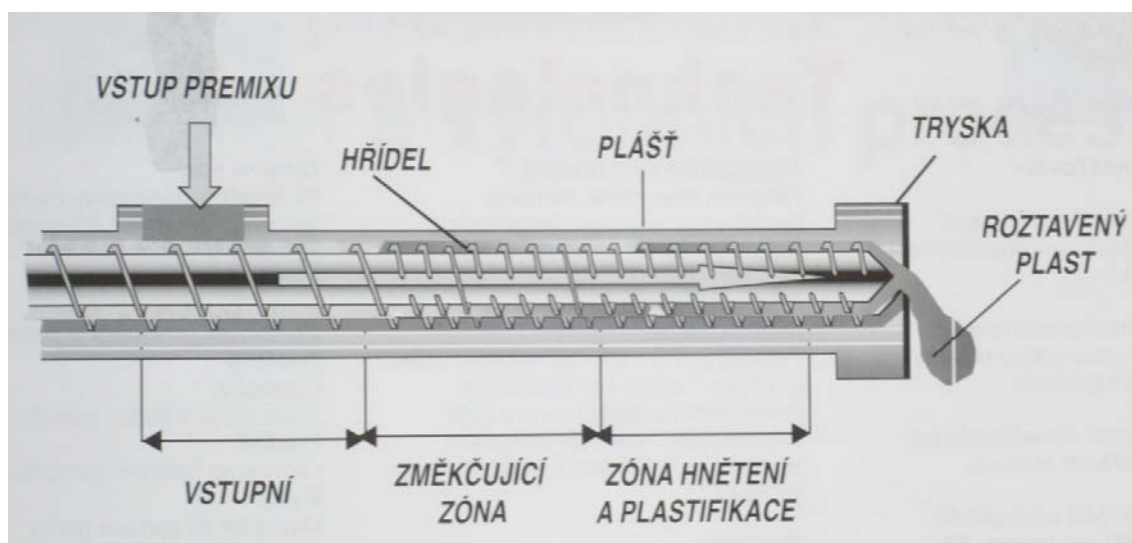
Výrobu práškových plastů můžeme rozdělit do 3 základních kroků. Těmi jsou protlačování – extrudace, proces mletí a dokončování. Přesné složení práškových barev je závislé na konkrétním typu barvy a do jisté míry je i výrobním tajemstvím jednotlivých výrobců. Obecně platí, že se barvy skládají z pryskyřice, tvrdidla, činidla pro regulaci rozlivu, katalyzátoru, pigmentů a plniv, přičemž pryskyřice tvoří bázi, ve které jsou všechny ostatní látky dispergované. Používané pryskyřice jsou polyuretanové dále epoxidové a polyesterové, případně jejich mixy.

*Tab. 3.2 Složení práškových barev*

Surovina	% podílu z celkového složení	Funkce
Pigmenty	0 - 40 %	dodávají odstín, krycí schopnost a optické vlastnosti
Plniva	0 - 20 %	zlepšují vlastnosti aplikace. Zvyšují odolnost proti otěru, tvrdost povlaku a korozivzdornost
Přísady	1 - 2 %	ovlivňují tečení, strukturu a lesk povrchu
Tvrdidlo	cca 60 %	syntetické polymerní materiály, dodávající odolnost proti nárazu, pružnost a odolnost proti atmosférickým vlivům

- **PROTLAČOVÁNÍ**

Protlačování neboli extrudace – suroviny jsou naváženy podle předepsané receptury a následně dokonale promíchány, čímž vzniká tzv. premix. Premix je nasypán do násypky a postupně prochází přes vstupní a změkčující zónu až do zóny hnětení a plastifikace. Obal a šnek zařízení je vyhřívám vodním médiem. Konečným produktem této operace je roztavený plast.



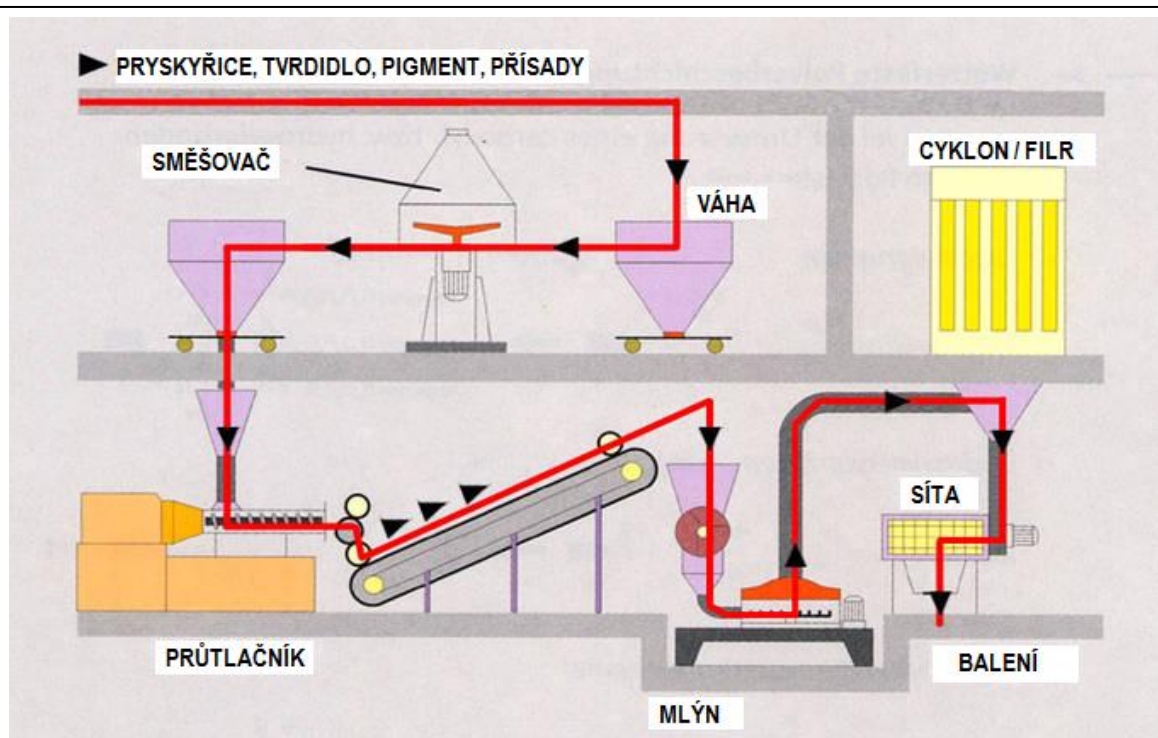
Obr. 3.13 Proces protlačování při výrobě práškové barvy [6]

- **PROCES MLETÍ**

Při procesu mletí roztavená barva z extrudéru tuhne na chlazených válcích a pásovým dopravníkem je dopravována do mlýna. Zde jsou částice barvy rozemlety na potřebnou velikost, většinou 10  $\mu\text{m}$  – 100  $\mu\text{m}$  a pokračují do separátoru, kterým je v tomto případě cyklon. Ten oddělí nečistoty a nestandardní velikost zrn od správných, které putují přes síto do zásobníku. [6,22]

- **DOKONČENÍ VÝROBY**

Barva ze zásobníku je přesně dávkována do pytlů nebo jiných obalových materiálů. Nejčastěji je barva dodávána odběratelům v 20 nebo 25 kg krabicích.



Obr. 3.14 Proces výroby práškové barvy [22]

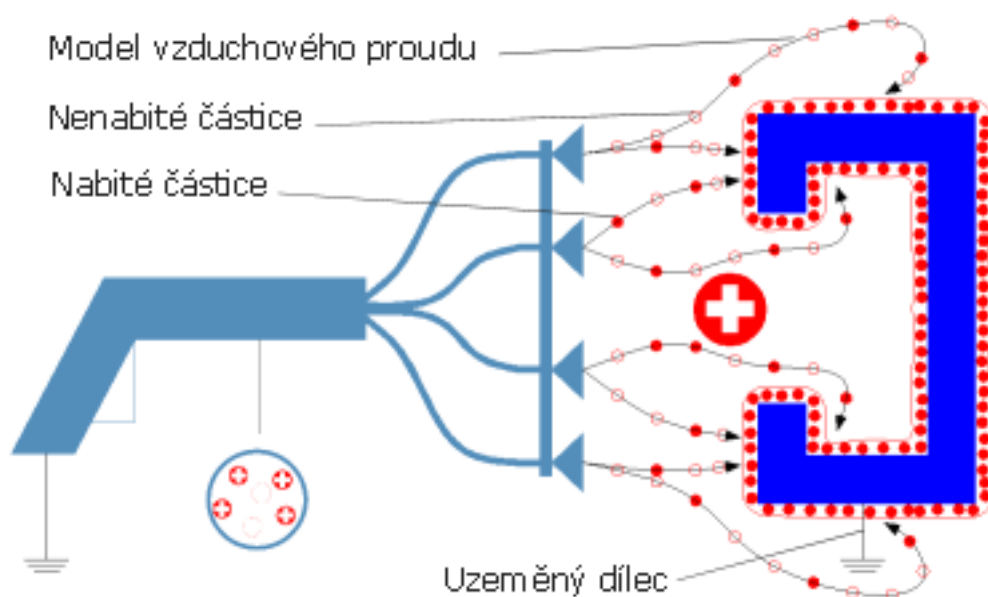
## 2.5 Technologie nanášení práškových plastů

Aby mohla být prášková barva použita k aplikaci na výrobek, je potřeba jí dát vlastnosti tekutiny. V aplikačním zařízení je prášková barva smísená s tlakovým vzduchem a hnána ze zásobníku tlakovou hadicí do aplikační pistole a z ní stříkána na výrobek. Aby nanesený prášek na výrobku ulpěl a nespadl z něj dříve, než dojde k jeho zakotvení na povrchu výrobku ve vytvrzovací peci, je mu v aplikačním zařízení dodána elektrostatická energie, která způsobuje přitahování jeho částic ke stříkanému výrobku a následné ulpění na něm. Říká se, že prášek je v aplikačním zařízení „nabíjen“. Toto „nabití“ je zajišťováno dvěma základními způsoby: třením o vnitřní stěny aplikační pistole, případně i tlakové hadice a dalších pomocných dílů, vyráběných zpravidla z teflonu, to se nazývá elektrokinetické nabíjení tzv. TRIBO.

Druhý způsob získání náboje je pomocí elektrody vysokého napětí, umístěné u ústí aplikační pistole. Nazývá se elektrostatické nabíjení, tzv. STATIKA nebo KORONA. [4]

### 2.5.1 Elektrokinetické nabíjení

Systém založený na principu nabíjení izolantů triboefektem. Práškový plast je tlačенý čistým a suchým vzduchem soustavou plastových dílců ve tvaru nabíjecí trubice. Výsledná polarita nabitých částic je "+". Díky shodné polaritě nabitých částic práškové barvy a vlivem elektrických sil dochází k jejich vzájemnému odpuzování, což má za následek, že utvoří homogenní mrak. Uvolněné elektrony částečně odcházejí s nabitým mrakem práškového plastu na zavěšený dílec a zčásti jsou svedeny zemnicí elektrodou do uzemnění. Výhodou této metody je menší náročnost na zkušenost pracovníka provádějícího aplikaci a nízké pořizovací náklady. Nevýhoda je omezená možnost použití barev (barvy s metalickými nebo strukturními efekty se nedají tímto způsobem aplikovat), nízká produktivita ve srovnání s koronovým systémem a vyšší spotřeba prášku v  $\text{kg/m}^2$ . [4,15]



Obr. 3.15 Elektrokinetické nabíjení [22]

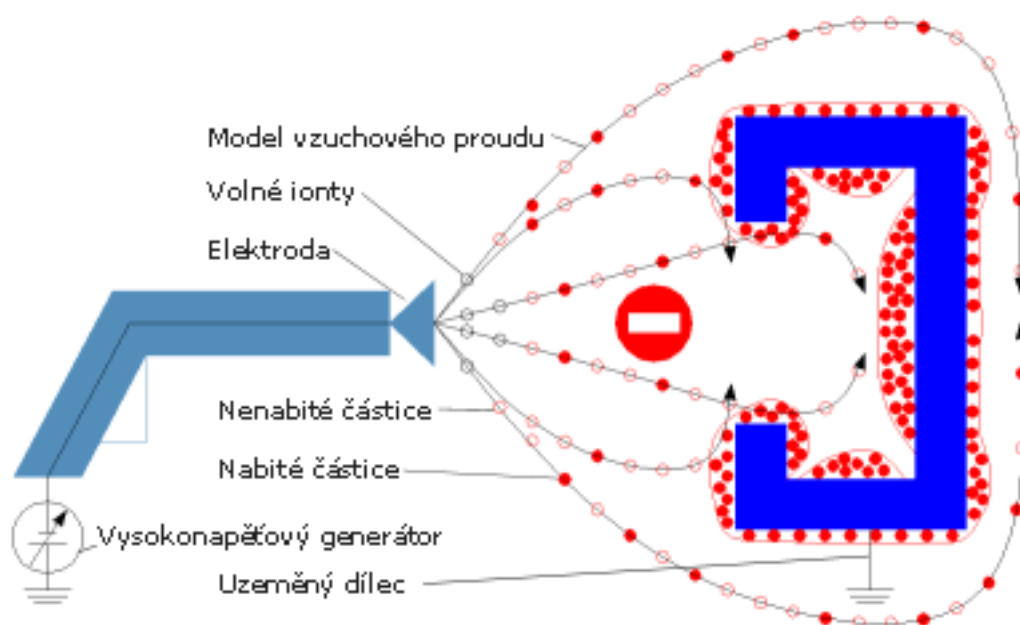




Obr. 3.16 Elektrokinetická stříkáci pistole Jevan – Prsten 031 [15]

### 2.5.2 Elektrostatické nabíjení

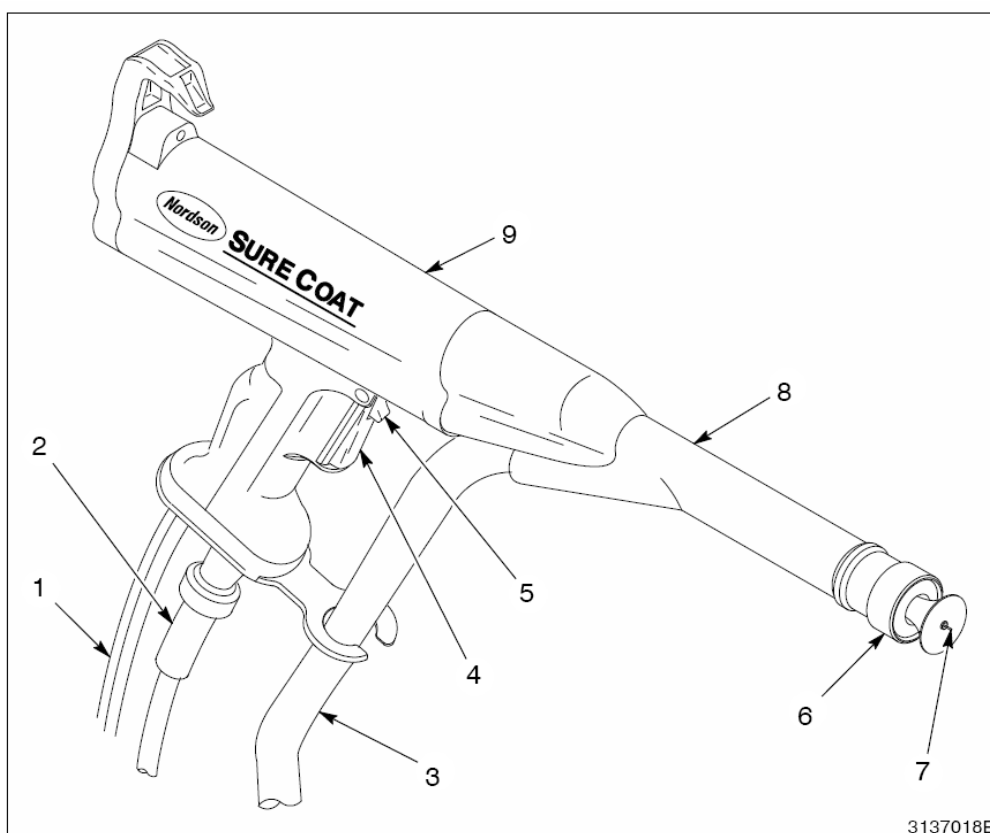
Je systém založený na principu nabíjení izolantů procházejících elektrostatickým polem vysoké intenzity. Potřebný potenciál získáme pomocí přídatného zdroje elektrostatického pole. Výslednou polaritu částic práškového plastu si lze zvolit. Nejčastěji je volena polarita „ – „.



Obr. 3.17 Elektrostatické nabíjení [19]



Popis principu nabíjení je proveden na ruční práškové aplikační pistoli SureCoat od společnosti Nordson. Pistole má násobič napětí umístěný ve vstupním adaptéru (8) a tělese (9). Násobič převádí nízké stejnosměrné napětí na vysoké elektrostatické napětí o velikosti 20 – 100 kV, potřebné pro práškový nástřik. Toto napětí vytváří silné elektrostatické pole mezi elektrodou (7) umístěnou v trysce (6) a uzemněným dílem nacházejícím se před ústím stříkací pistole. Elektrostatické pole vytváří kolem elektrody koronový výboj. Stlačený vzduch čerpá prášek z násypného zásobníku přes přívodní hadici (3) do stříkací pistole a pohání ho směrem k uzemněným dílcům. Při průchodu koronovým nábojem získávají částice prášku elektrostatický náboj a jsou přitahovány k uzemněným dílcům. Struktura vrstvy vytvářené nástřikem je regulována tvarem trysky, rychlostí vzduchu, který vystupuje z trysky a unáší prášek a elektrostatickým polem vytvářeným mezi elektrodou a uzemněným dílem. Výhodou tohoto systému je vysoká produktivita práce, nízká spotřeba barvy a snadná možnost automatizace. Nevýhoda může být vyšší pořizovací cena, nutnost dokonalého uzemnění dílce a možnost vzniku Faradayovy klece na povrchu lakovaného dílce. [16]



Obr. 3.18 Nanášecí pistole pro elektrostatickou aplikaci Nordson – SureCoat®  
[16]

### 3. VYTVRZOVÁNÍ

Vytvrzování práškového povlaku, někdy nazývané také vypalování, je procesem, který má velmi významný vliv na vlastnosti budoucího povlaku. Ovlivňuje zejména mechanické vlastnosti, dále protikorozi a protichemickou odolnost a často také vzhled budoucího povrchu. Vytvrzování lze provádět pouze u termosetických práškových plastů. Je to proces, kdy v určitém teplotním rozmezí dochází k polymeraci. Reakce nastává mezi molekulami použité pryskyřice a molekulami použitého tvrdidla. Výsledkem je vznik zasíťovaných trojrozměrných makromolekul. U termoplastických plastů dochází ke vzniku plastu pouze roztavením příslušného polymeru, bez jakékoliv probíhající chemické reakce. Polymerace je endotermní reakce, tzn. reakce spotřebovávající teplo a je nutné jej neustále dodávat. Základní podmínkou pro vytvrzování je předpoklad, že teplota barvy respektive podkladu je konstantní tzn., že teplo odebrané reakcí je stále doplňováno.

#### 3.1 Principy použitého vytvrzování

Podle způsobu vytvrzování – horkovzdušné (plynové nebo elektrické) pece, pece s infračervenými paprsky nebo ultrafialovými paprsky.

- **Horkovzdušné pece**

Nejrozšířenějším typem vytvrzovacích pecí jsou horkovzdušné. Jejich provedení může být s elektrickým nebo plynovým vytápěním. Vytvrzování probíhá předáváním tepla na povrch dílce cirkulujícím horkým vzduchem. Tento způsob je nejuniverzálnější a v těchto pecích můžeme vytvrzovat všechny druhy práškových plastů i tvarů kovových součástí. [4]

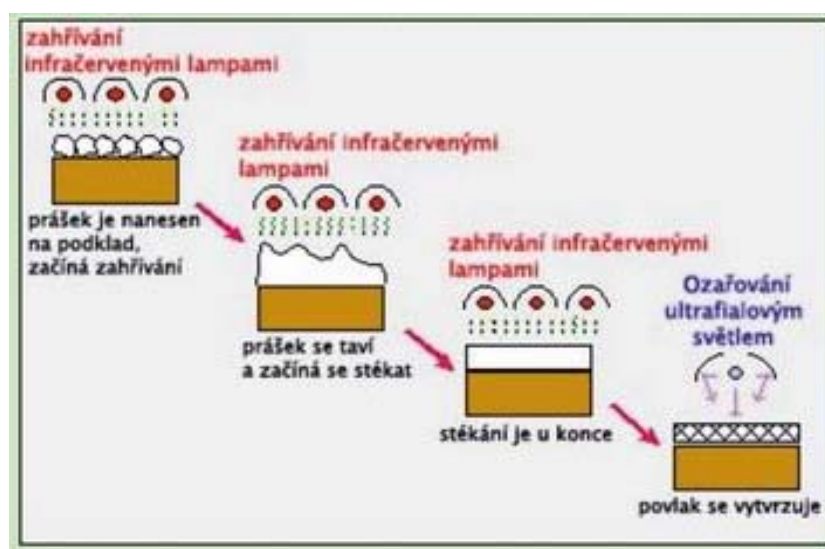
- **Pece s vytvrzováním infračervenými paprsky**

Druhým typem jsou pece s vytvrzováním infračervenými paprsky. V tomto případě není ohříván vzduch, ale přímo prášek na povrchu lakovaného dílce. Tento způsob je mnohem rychlejší a účinnější, ale je značně omezeno spektrum jeho využití. Lze využít pouze u plošných nebo rotačních součástí, protože k ohřevu dochází pouze na plochách, kde dopadají infračervené paprsky. Hustota dopadajících paprsků je velmi vysoká, tím se velmi výrazně zkracuje doba roztavení a vytvrzení povlaku. Největší výhodou tohoto způsobu

je, že nedochází k ohřevu podkladu, na kterém je prášková barva nanесena. Tím se možnost použití práškových plastů rozšíří na materiály, které jsou méně tepelně odolné. Jako jsou např. MDF desky nebo papír. [4]

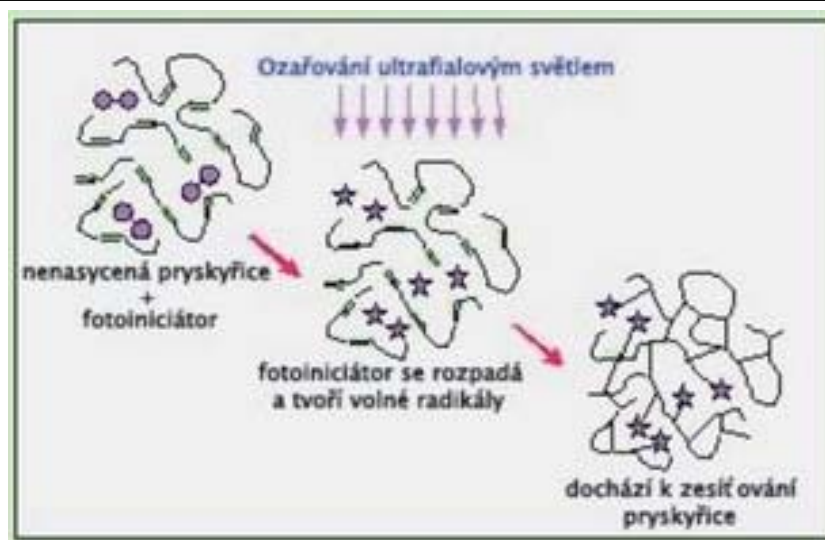
- **Pece s vytvrzováním ultrafialovým zářením**

Třetím a nejmodernějším způsobem je vytvrzování ultrafialovým zářením. Tato technologie ještě více zrychluje proces vytvrzování než výše uvedený způsob. Proces vypalování využívá k roztavení prášku infračervený ohřev a potom dochází k samotnému vytvrzení během několika desítek vteřin působením ultrafialového záření, které způsobí fotopolymerační reakci. Díky nižším teplotám kolem 90 °C – 120 °C a velmi krátké době působení umožňuje použití práškových barev i například na plasty. Nevýhodou je nutnost použití speciálních UV práškových plastů. [4,6,17]



Obr. 4.3 Proces vytvrzování ultrafialovým zářením [17]

Tyto plasty se většinou vyrábějí na bázi polyesterových pryskyřic. Klíčovou přísadou UV prášků jsou fotoiniciátory, které pohlcují dopadající ultrafialové světlo a tvoří vysoce reaktivní volné radikály, které pak vyvolají zasíťování pryskyřice (obr. 6.4). Ve směsi jsou dále přítomny urychlovače toku, které napomáhají vyhlazení roztaveného povlaku. [4, 17]



Obr. 4.4 Princip ozařování ultrafialovým světlem [17]

### 3.2 Typy vytvrzovacích pecí podle způsobu uspořádání

Podle způsobu uspořádání mohou být pece komorového nebo průjezdního typu.



Obr. 4.1 Vytvrzovací pec průjezdního typu [12]



*Obr.4.2 Komorová vytvrzovací pec s plynovým vytápěním [12]*

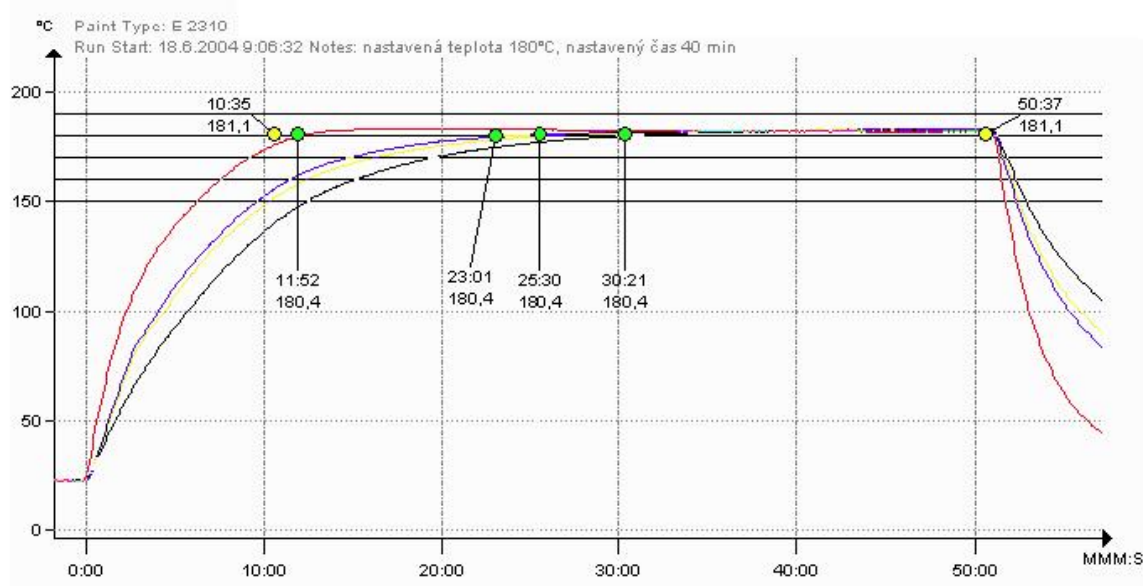
### **3.3 Vytvrzovací podmínky a jejich změna v závislosti na tloušťce materiálu**

Nedostatečné nebo naopak příliš velké vytvrzení může mít negativní vliv na výsledné vlastnosti povlaku.

Nedostatečně vytvrzená vrstva práškové barvy má především špatné mechanické vlastnosti např. malou odolnost při ohybu, zkoušce hloubením, úderem a špatnou přilnavost. Zhoršuje se chemická i korozní odolnost a u transparentních laků může dojít k vzniku trhlin v povrchu. Při použití matných laků se nedostatečné vytvrzení projeví i vizuálně nedostatečným zmatováním dílce nebo zmatováním jen některých jeho částí do určitého stupně lesku.

Přepálení může vznikat příliš dlouhou dobou vytvrzování nebo použitím vyšší teploty než je předepsáno a je všeobecně považováno za méně škodlivé, než nedostatečné vypálení. Nežádoucí jevy při přepálení jsou změna odstínu nebo snížení lesku povrchu. Na změny odstínu jsou náchylnější především světlé odstíny, matné barvy a všeobecně práškové plasty založené na epoxidové bázi. Ostatní vlastnosti při mírném přepálení zůstávají zachovány nebo se snižují velmi pomalu. Při určování doby vytvrzování tedy musíme být velmi opatrní.

Většina výrobců uvádí podmínky vytvrzování pro horkovzdušné pece. U nich je důležité zajistit konstantní teplotu v každém místě komory. To se provede při kalibraci pece nastavením jednotlivých klapek v systému rozvodu horkého vzduchu v komoře. Při zavěšování rozměrných dílců musíme zajistit, aby proudění vzduchu nebylo neovlivněno natolik, že by se výrazně změnila teplota v jednotlivých částech pece. Maximální teplotní rozdíl v různých místech komory udáván výrobcí je 5 °C. Podmínky uvedené v technickém listě udávají na jakou teplotu je nutné dílec ohřát a po jakou dobu má toto ohřátí trvat, aby bylo dosaženo správné vytvrzení. Například pro práškový plast Komaxit® E 2310 je doporučená vytvrzovací hodnota 180 °C/10 minut. Tyto hodnoty můžeme použít pouze pro tenkostěnné materiály, do síly 1,5 mm. Doba vytvrzování pro silnější materiály je velmi složité určit. Podle poznatků z praxe se u kovových materiálů doba vypalování prodlužuje o 2 až 3 minuty na 1 mm tloušťky materiálu. Nejpřesnější způsob jak dobu určit, je provést zkoušku náběhu teploty pomocí teplotního čidla umístěného na materiálu, který vložíme do pece. Tím zjistíme dobu náběhu teploty a můžeme přesně stanovit optimální délku vypalování. [4,17]



Obr. 4.3 Křivky náběhu teplot [9]

- První žlutý bod ukazuje, kdy bylo dosaženo teploty vzduchu 180 °C a začal nastavený odečet 40 minut. Druhý žlutý bod pak značí ukončení odečtu a vytažení výrobků z pece.



- Červená křivka ukazuje teplotní průběh na materiálu – černý plech 1 mm, zelený bod na ní je čas, kdy tento plech dosáhl nastavené teploty 180 °C, tedy asi 1,5 minuty od času, kdy 180 °C dosáhl vzduch v peci a začal odečet
- Modrá křivka ukazuje teplotní průběh na materiálu – černý plech 4 mm, zelený bod na ní je čas, kdy tento plech dosáhl nastavené teploty 180 °C, tedy asi 12,5 minuty od času, kdy 180 °C dosáhl vzduch v peci a začal odečet.
- Žlutá křivka ukazuje teplotní průběh na materiálu černý plech 6 mm, zelený bod na ní je čas, kdy tento plech dosáhl nastavené teploty 180 °C, tedy asi 15 minut od času, kdy 180 °C dosáhl vzduch v peci a začal odečet.
- Černá křivka ukazuje teplotní průběh na materiálu černý plech 10 mm, zelený bod na ní je čas, kdy tento plech dosáhl nastavené teploty 180 °C, tedy přibližně za 20 minut od času, kdy 180 °C dosáhl vzduch v peci a začal odečet.[24]

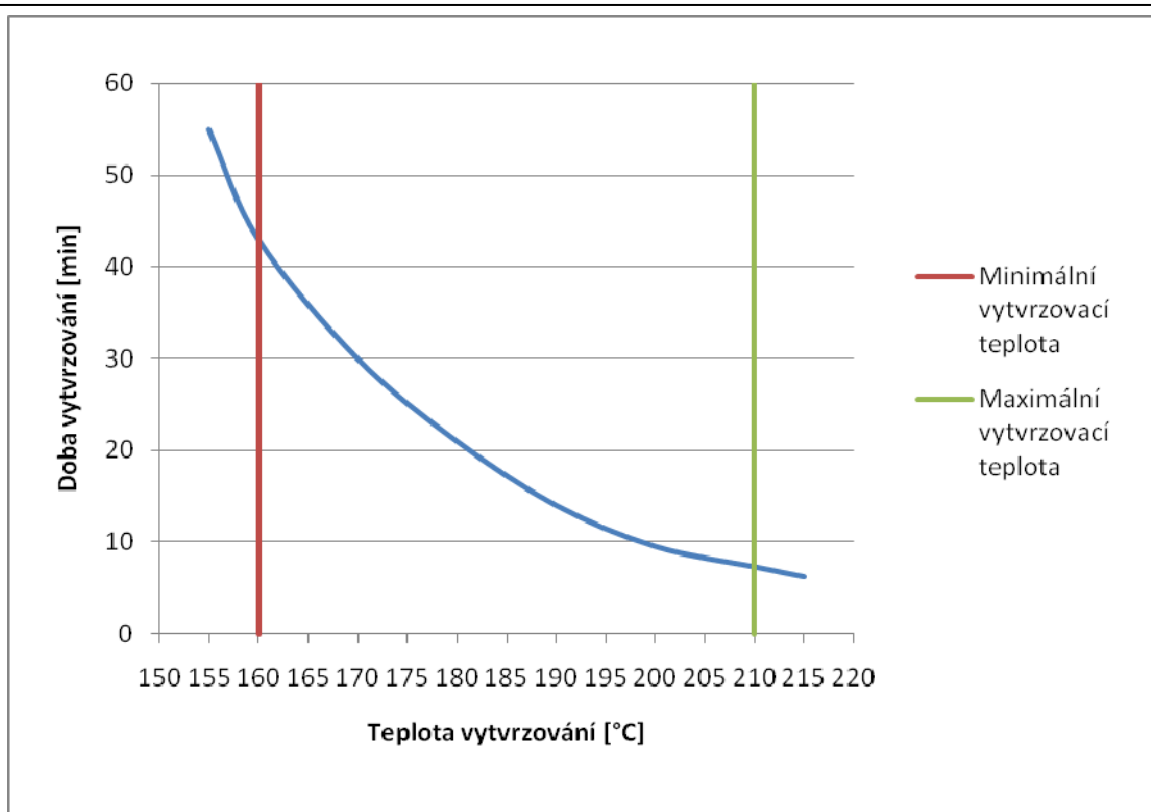
## 4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 4.1 Návrh experimentu

Experiment je složen z předúpravy, nalakování a vytvrzení šesti kusů vzorků. U všech vzorků bude shodné provedení předúpravy a aplikace práškové barvy. Pro obě tyto části povrchové úpravy budou stanoveny optimální podmínky. Při stanovování podmínek se bude vycházet z informací uvedených v technických listech použitých produktů a obecných zásad využívaných při práškovém lakování.

Vytvrzování probíhá zvláště pro každý ze vzorků. Vzorky budou vytvrzovány při konstantní době vytvrzování v délce 20 minut. Teplota vytvrzování bude v rozsahu 100 °C až 200 °C a jednotlivé vzorky budou odstupňovány po 20 °C. Pro výrobcem udávanou optimální vytvrzovací teplotu 180 °C/20 minut bude změřen teplotní diagram náběhu teploty vzorku ve vytvrzovací peci. Po provedení povrchové úpravy všech vzorků budou provedena měření jednotlivých vzorků. Měřit se bude tloušťka barvy dle ISO 2808 a jednotky lesku dle ISO 2813. Dále se bude vyhodnocovat přilnavost mřížkovou zkouškou dle ISO 2409 a změna barevné odchylky  $\Delta E$  v barevném prostoru CIE Lab.

Součástí experimentu bude také ekonomické hodnocení délky vytvrzování s příkladem možnosti využití barvy s kratší dobou vytvrzování.



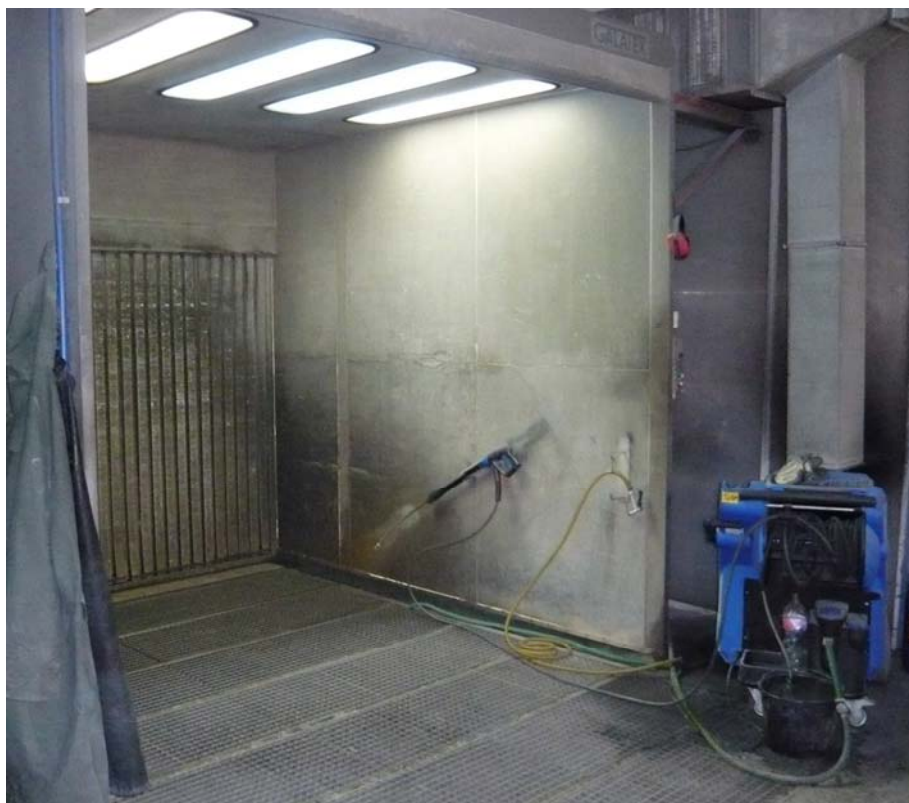
Obr. 5.1 Závislost délky vytvrzování na teplotě vytvrzování

Vzorkem, na kterém je provedena experimentální část práce, je ocelový plech o rozměrech 290x205x1 mm. Materiál vzorku je ocel 11 373.0.

- **Předúprava**

Odmaštění je provedeno postřikem vysokotlakou vodou v kombinaci s fosfatizačním prostředkem. Použitý pracovní tlak zařízení je 2,5 MPa a teplota kapaliny při odmašťovacím procesu je 50 – 60 °C. Jako Fe-fosfát je použit prostředek DURIDINE 3803 IT od firmy HENKEL. Koncentrace roztoku je 1,25 %obj. Fosfatizační přípravek v kapalném stavu odstraňuje mastnoty z povrchu oceli a vytváří na povrchu modrožlutou vrstvu fosforečnanu železnatého. Po odmaštění následuje opláchnutí čistou vodou a provedení vizuální kontroly odmaštění očivostí povrchu. Výhodou tohoto způsobu předúpravy je ekologická nezávadnost. Pracoviště pracuje s uzavřeným oběhem vody a při výměně vody v oběhu, je voda vždy před vypuštěním vyčištěna v přílehlé čističce. Při vypouštění je odpadní voda kontrolována laboratorními rozbory.





*Obr. 5.2 Pracoviště pro přeúpravu vzorků*

- **Sušení**

Odmaštěný a opláchnutý dílec je zavěšen na dopravník a umístěn do horkovzdušné pece přibližně na 3 minuty pro dokonalé usušení. Teplota vzduchu při sušení je nastavena na 90 °C.



*Obr. 5.3 Vzorek zavěšený na dopravníku po předúpravě*

- **Nanášení práškové barvy**

Prášková barva zvolená pro lakování vzorků je Color CPC-41 od společnosti SAVATRADE (příloha 2.). Jedná se o hybridní barvu na bázi epoxi-polyesteru s hladkým a matným povrchem. Nanášení je provedeno elektrokinetickým nanášecím zařízením Jevan-Prsten 091. Vzdálenost pistole od dílce je přibližně 20 cm.



*Obr. 5.4 Aplikace práškové barvy*



*Obr. 5.5 Vzorky po nanesení práškové barvy*

- **Vytvrzování**

Vytvrzování je prováděno v horkovzdušné komorové peci s plynovým vytápěním. Hodnoty teplot jsou nastavovány podle hodnot uvedených výše. Čas vytvrzování je konstantní a je 20 minut.



*Obr. 5.6 Komorová vytvrzovací pec Galatek®*

## **4.2 Měřicí přístroje a použité postupy měření**

### **4.2.1 Měření tloušťky povlaku**

Měření tloušťky povlaku není nezbytně nutné k hodnocení vytvrzení práškové barvy, budeme-li předpokládat obvyklé tloušťky povlaků, pohybující se v rozmezí od 50  $\mu\text{m}$  do 150  $\mu\text{m}$ . V našem případě je změření tloušťky povlaku

nutné pro další měření v rámci experimentu. Tloušťka povlaku je nutná vstupní hodnota pro měření přilnavosti povlaku mřížkovou zkouškou. K měření tloušťky povlaku je použit tloušťkoměr Elcometer®415

- schválen pro měření odpovídající normě ISO 2808, ISO 2178, ISO 2630, ASTM B 244, ASTM B 499, DIN 50984
- rozsah měřícího přístroje: 0-1000 $\mu$ m
- rozlišení přístroje: 1  $\mu$ m
- přesnost přístroje:  $\pm 3$   $\mu$ m
- široká podstava „Big Foot®“ pro opakovaná měření
- možnost až 60-ti měření za minutu
- automatické přepnutí mezi feromagnetickými a neferomagnetickými podklady.

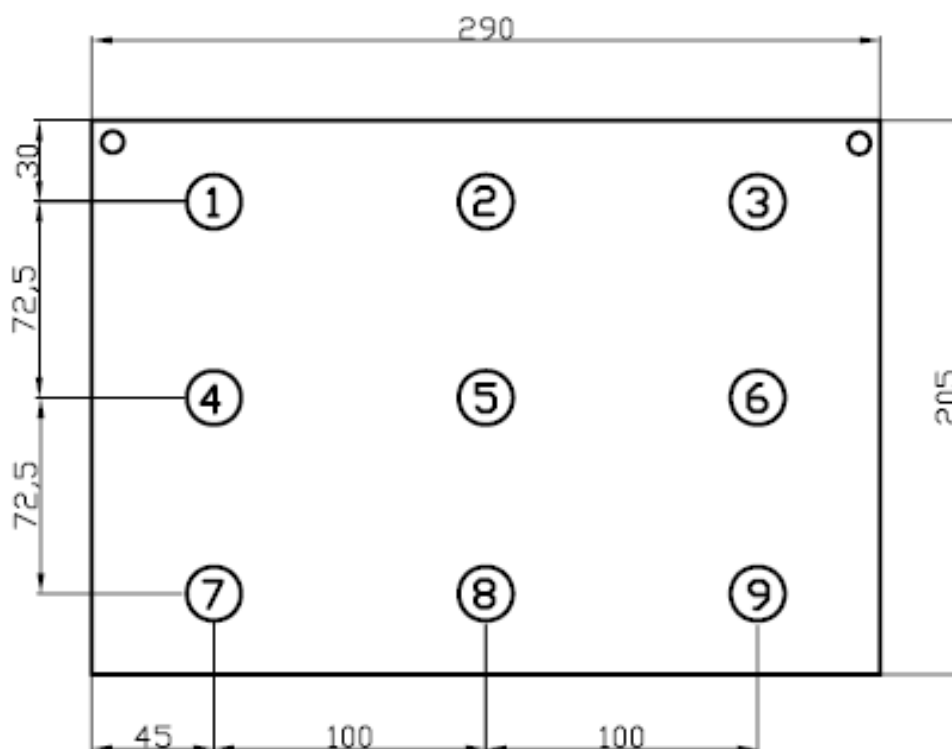


Obr. 5.7 Tloušťkoměr Elcometer® 415

U každého vzorku bylo změřeno devět hodnot v místech uvedených na obrázku (obr. 5.8) a výsledná hodnota je vypočtena jako aritmetický průměr těchto hodnot, dle vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^9 x_i = \frac{1}{n} \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9) \quad (5.1)$$

- $x$  jsou jednotlivé naměřené hodnoty [ $\mu\text{m}$ ]
- $n$  je počet měření [-], tedy 9.



Obr. 5.8 Výkres vzorku s označením míst pro měření tloušťky

#### 4.2.2 Měření přilnavosti

Pro měření přilnavosti povlaku k základnímu materiálu byla použita mřížková zkouška. Mřížková zkouška byla prováděna dle normy ČSN EN ISO 2409. K měření byla použita sada pro mřížkové zkoušky Elcometer® 107, splňující ve všech parametrech danou normu. Skládá se z řezného nástroje, lupy, štetěčku a samolepící pásy.

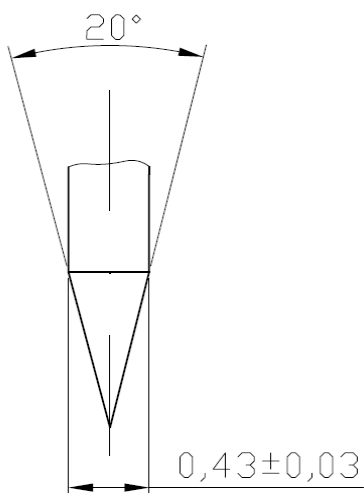




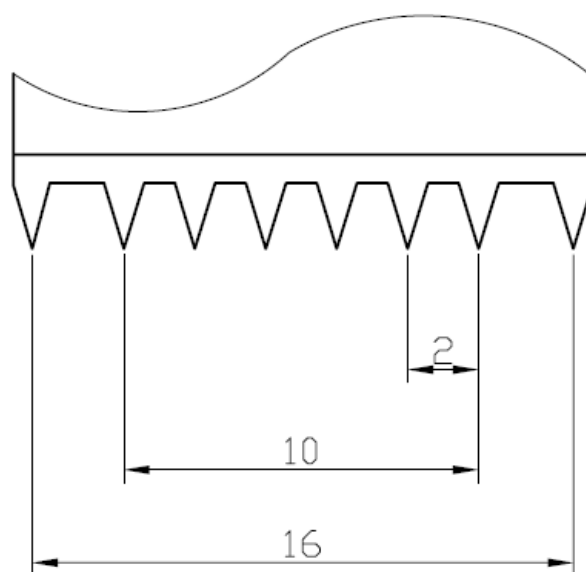
Obr. 5.9 Sada pro mřížkovou zkoušku Elcometer® 107

- **Řezný nástroj**

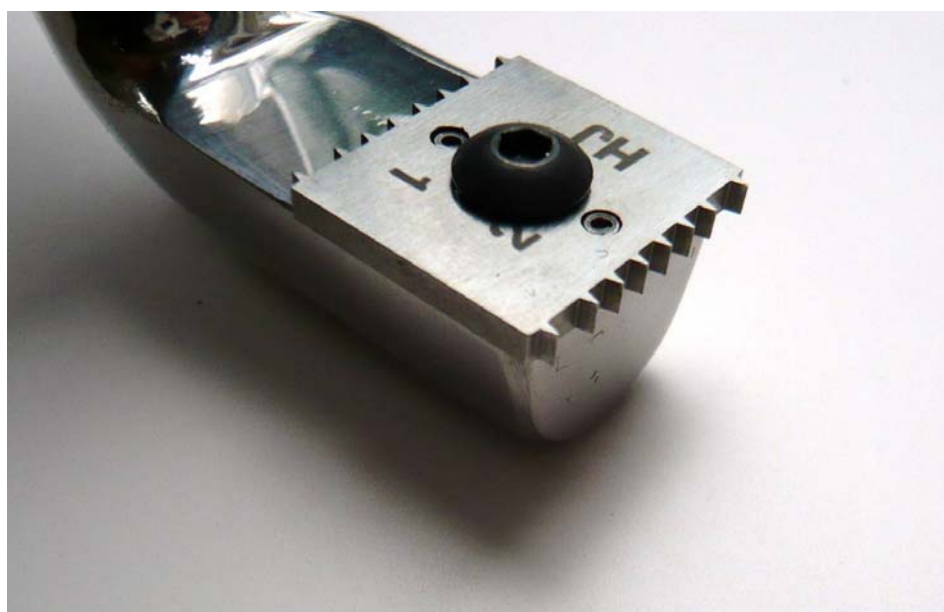
Řezný nástroj musí mít přesně definovanou geometrii. Ostří řezného nástroje (obr 5.11) je složeno z 6 řezných ostří (obr. 5.10) a 2 vodících hran. Vzdálenost řezů je definována normou podle tloušťky povlaku a typu podkladu. Pro tloušťku povlaku 61  $\mu\text{m}$  až 130  $\mu\text{m}$  a měkké i tvrdé podklady je definována vzdálenost řezných hran 2 mm. [23]



Obr. 5.10 Detail geometrie řezného břítu



*Obr. 5.11 Geometrie řezného nástroje*



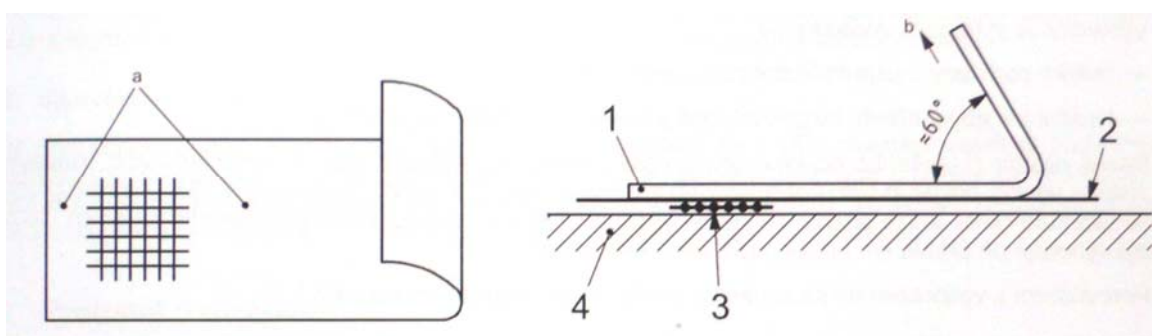
*Obr. 5.12 Řezný nástroj s vyměnitelným ostřím*

- **Samolepicí páska**

Normou je stanovena samolepicí páska, jejíž přilnavost je mezi 6 N na 25 mm šířky a 10 N na 25 mm šířky. Doporučená je průhledná páska.

- **Provedení zkoušky**

Před samotným provedením zkoušky musí být řádně připravený vzorek(4). Vzorek musí být rovný a nedeformovaný s rozměry minimálně 150 mm x 100 mm. U vzorku musí být změřena tloušťka povlaku dle ISO 2808 pro stanovení vzdálenosti řezných ostří. Při řezání svírá nástroj se vzorkem úhel  $90^\circ$  a tlak musí být dostatečný, aby prořízl povlak(2) až na základní povrch. Provedené řezy(3) musí vzájemně svírat úhel  $90^\circ$ , aby se vytvořila mřížka. Vzniklé spáry mřížky je nutné vyčistit od uvolněných částí povlaku jemným štětečkem. Dále je odříznut 75 mm dlouhý pásek samolepicí pásky. Střed pásky je umístěn na mřížku rovnoběžně s jedním svazkem řezů. Páska(1) je v místě nad mřížkou prstem uhlazena(a) tak, aby mřížka byla překryta nejméně o 20 mm (viz obrázek 5.11). Do 5 min po aplikaci pásky je páska odtržena za volný konec a stažením(b) pod úhlem co možná nejblíže  $60^\circ$  za 0,5 s až 1,0 s. [23]

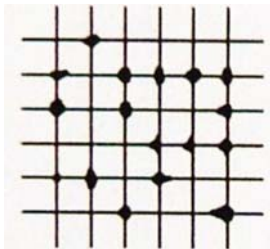
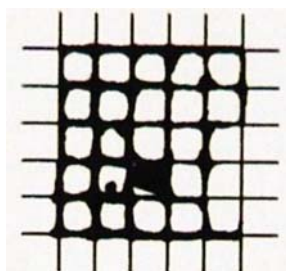
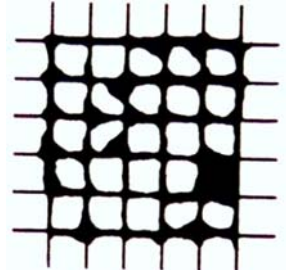
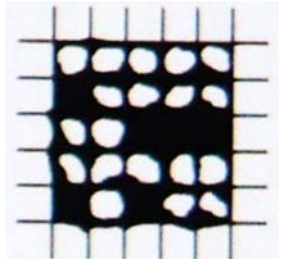


Obr. 5.13 Výkres provedení mřížkové zkoušky [23]



- Klasifikace výsledku zkoušky**

*Tab. 5.1 Klasifikace výsledků zkoušky[23]*

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem
0	Hrany řezů jsou zcela hladké, žádný čtverec mřížky není poškozen	---
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5%	
2	Povlak se odlupuje podél řezů anebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5%, ale menší než 15%	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech, částečně nebo zcela, anebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15%, ale menší než 35%	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela anebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35%, ale menší než 65%	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	---

#### 4.2.3 Měření lesku a barevné odchylky

Vzhledem k použití moderního fotospektrometru BYK Gardner bylo možné změřením lesku a barevné odchylky jedním přístrojem. Barevná odchylka byla měřena ve výše popsaném barevném prostoru CIE Lab a přístroj automaticky dopočítával změnu odchylky  $\Delta E$  i odchylky jednotlivých souřadnic L,a,b. Etalonovým vzorkem byl vzorek vytvrzený při 180 °C po dobu 20 minut. Lesk byl pod úhlem 60°. Pro měření byl použit přístroj BYK Gardner Spectro-guide.

Parametry pro měření barevné odchylky:

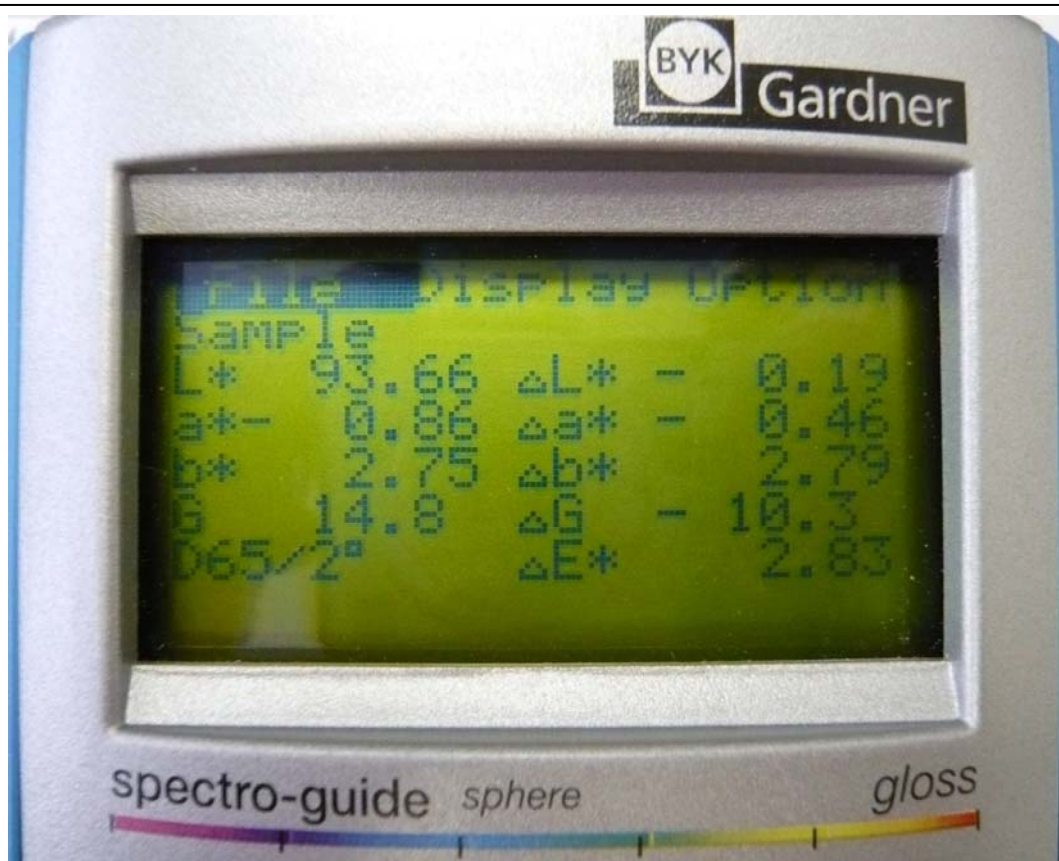
- schválen pro měření odpovídající normě ISO 7724
- rozsah délek světelného záření 400 nm až 700 nm
- rozlišení 10 nm
- opakovatelnost 0,01  $\Delta E$
- reprodukovatelnost 0,2  $\Delta E$
- osvětlení D65
- úhel pozorování 2°

Parametry pro měření lesku:

- schválen pro měření odpovídající normě ISO 2813
- rozsah měření 0 až 100 jednotek lesku
- úhel měření lesku 60°
- opakovatelnost  $\pm 0,2$  jednotek lesku
- reprodukovatelnost  $\pm 1,0$  jednotek lesku.



Obr. 5.14 Fotospektrometr BYK Gardner



Obr. 5.15 Zobrazení naměřených hodnot fotospektrometrem

## 4.3 Vyhodnocení vzorků

### 4.3.1 Hodnocení jednotlivých vzorků

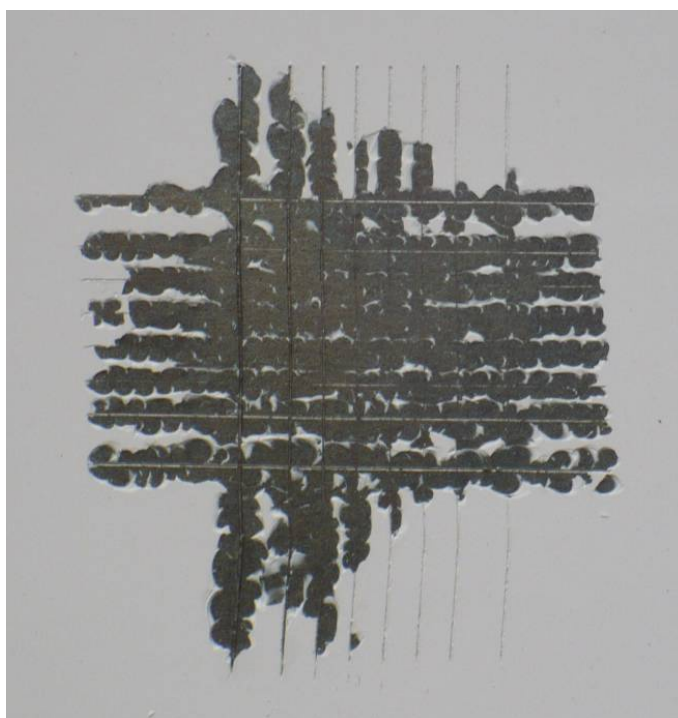
Pro každý z uvedených vzorků byly provedeny zkoušky podle zadání a postupů popsaných výše. U každého vzorku je vložena tabulka s naměřenými a vypočtenými hodnotami, dále fotografie s výsledkem mřížkové zkoušky a u etalonového vzorku i teplotní diagram vytvrzování.

- **Vzorek 1**

První vzorek byl vytvrzován při teplotě 100 °C. Podle vytvrzovací křivky (obr. 5.1) je zřejmé, že nemohlo dojít k dostatečnému vytvrzení.

Tab. 5.2 Výsledné hodnoty pro vzorek 1

Vzorek č. :	1	Jednotka/ISO
Vytvrzovací podmínky :	100/20	[°C/min]
Hodnocení mřížkové zkoušky :	5	[-] ISO 2409
Jednotky lesku :	93,1	[-] ISO 2813
Hodnota barevné odchylky :	0,53	[ΔE] ISO 7724
Hodnota a :	0	[-] ISO 7724
Hodnota b :	0	[-] ISO 7724
Hodnota L :	94,21	[-] ISO 7724
Průměrná tloušťka povlaku :	117,6	[μm] ISO 2808
Bodové tloušťky povlaku :	122,125,117,118,108,116,123,114,116	[μm] ISO 2808



Obr. 5.16 Mřížková zkouška pro vzorek 1

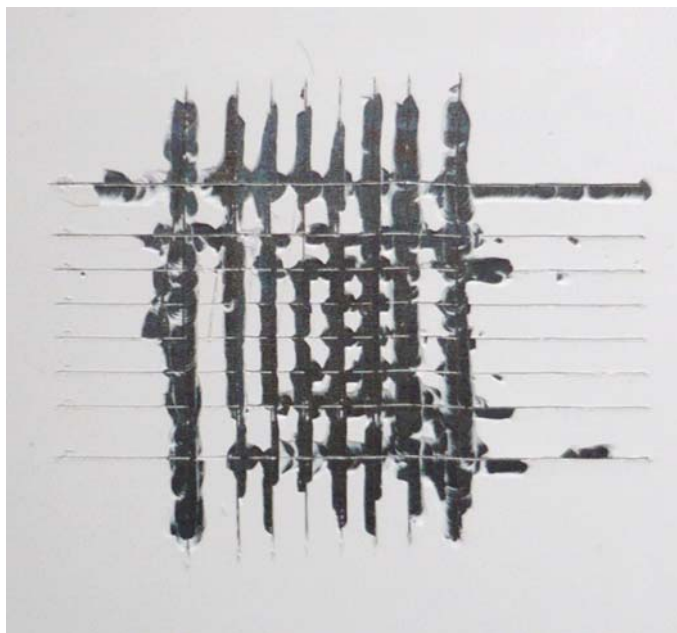
Nedostatečné vytvrzení se projevuje především velmi špatnou přilnavostí. Hodnocení mřížkové zkoušky je na nejhorším, tedy pátém stupni. Druhým nevyhovujícím parametrem je lesk. Vzorek dosahuje 93,1 jednotek lesku. Při správném vytvrzení by lesk měl dosahovat hodnot mezi 15 a 25 jednotkami lesku. Hodnota barevné odchylky je menší než 1, je tedy v normě.

- Vzorek 2**

Vytvrzovací teplota druhého vzorku je 120 °C. I zde je patrné, že nedojde k dostatečnému vytvrzení. U vzorku by měl být lesk nižší než u předchozího a je očekávána lepší přilnavost, než v případě vzorku číslo 1.

*Tab. 5.3 Výsledné hodnoty pro vzorek 2*

<b>Vzorek č. :</b>	<b>2</b>	Jednotka/ISO
<b>Vytvrzovací podmínky :</b>	<b>120/20</b>	[°C/min]
<b>Hodnocení mřížkové zkoušky :</b>	<b>4</b>	[-] ISO 2409
<b>Jednotky lesku :</b>	<b>89,2</b>	[-] ISO 2813
<b>Hodnota barevné odchylky :</b>	<b>0,51</b>	[ΔE] ISO 7724
<b>Hodnota a :</b>	<b>-0,03</b>	[-] ISO 7724
<b>Hodnota b :</b>	<b>-0,02</b>	[-] ISO 7724
<b>Hodnota L :</b>	<b>94,21</b>	[-] ISO 7724
<b>Průměrná tloušťka povlaku :</b>	<b>115,1</b>	[μm] ISO 2808
<b>Bodové tloušťky povlaku :</b>	<b>132,112,115,119, 120,115,121,105,116</b>	[μm] ISO 2808



*Obr. 5.17 Mřížková zkouška pro vzorek 2*

Podle předpokladu došlo u vzorku č. 2 jen k částečné polymeraci a povlak není optimálně vytvrzen. Došlo ke snížení lesku, i když pouze o několik jednotek lesku a stupeň klasifikace mřížkové zkoušky se zlepšil z pátého na

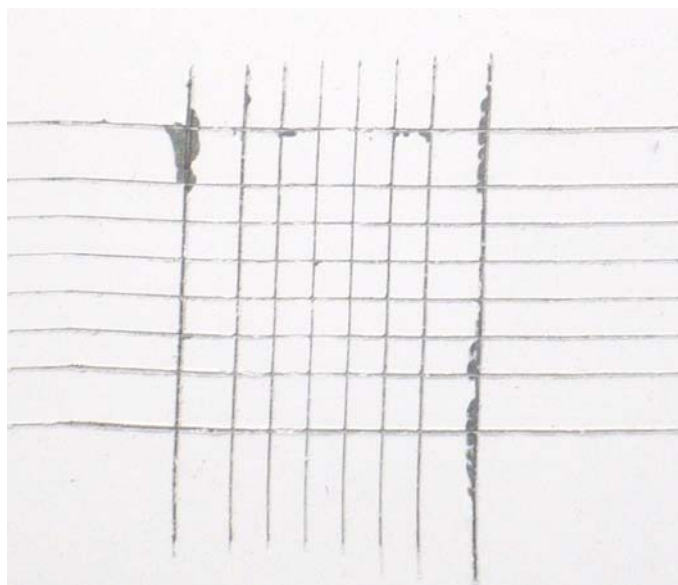
čtvrtý. Barevná odchylka stále nedosahuje hodnot, které by nevyhovovaly normě.

- **Vzorek 3**

Vytvrzovací teplota u třetího vzorku byla nastavena na 140 °C a lze předpokládat zlepšené hodnoty přilnavosti i nižší jednotky lesku, než u předešlého vzorku.

*Tab. 5.4 Výsledné hodnoty pro vzorek 3*

<b>Vzorek č. :</b>	<b>3</b>	Jednotka/ISO
<b>Vytvrzovací podmínky :</b>	<b>140/20</b>	[°C/min]
<b>Hodnocení mřížkové zkoušky :</b>	<b>1</b>	[-] ISO 2409
<b>Jednotky lesku :</b>	<b>67,2</b>	[-] ISO 2813
<b>Hodnota barevné odchylky :</b>	<b>0,32</b>	[ΔE] ISO 7724
<b>Hodnota a :</b>	<b>-0,19</b>	[-] ISO 7724
<b>Hodnota b :</b>	<b>0,01</b>	[-] ISO 7724
<b>Hodnota L :</b>	<b>94,09</b>	[-] ISO 7724
<b>Průměrná tloušťka povlaku :</b>	<b>100,7</b>	[μm] ISO 2808
<b>Bodové tloušťky povlaku :</b>	<b>112,103,97,104,96,110,83,93,109</b>	[μm] ISO 2808



*Obr. 5.18 Mřížková zkouška pro vzorek 3*

Mezi vytvrzovací teplotou 120 °C a 140 °C dojde k výraznému zlepšení přilnavosti povlaku k podkladu. Mřížková zkouška se zlepšila o dva stupně



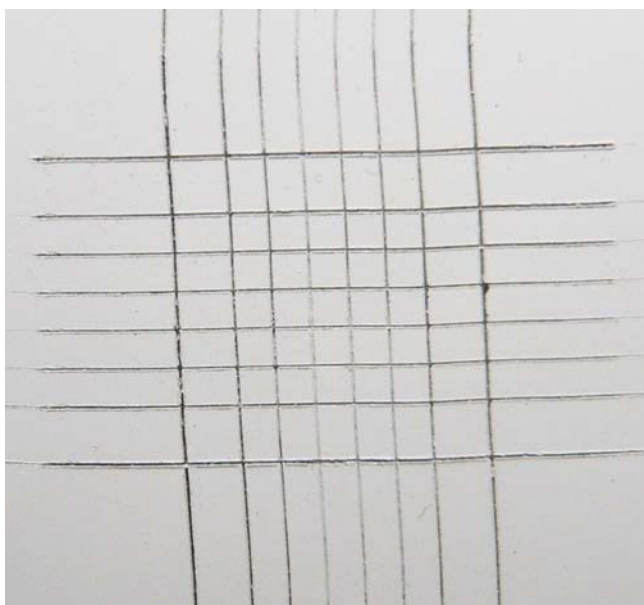
a dosáhla na stupeň 1. Mírné zlepšení směrem k požadovaným hodnotám je i v jednotkách lesku. Barevná odchylka je stále na úrovni menší než 1.

- **Vzorek 4**

Při vytvrzovací teplotě 160 °C lze dle vytvrzovací křivky na obrázku 5.1 dosáhnout plného vytvrzení. Tato teplota je hraniční a k úplnému vytvrzení je nutný více než dvojnásobný vytvrzovací čas. Z těchto údajů je zřejmé, že ani u vzorku 4 nelze dosáhnout požadovaných hodnot.

*Tab. 5.5. Výsledné hodnoty pro vzorek 4*

<b>Vzorek č. :</b>	<b>4</b>	Jednotka/ISO
<b>Vytvrzovací podmínky :</b>	<b>160/20</b>	[°C/min]
<b>Hodnocení mřížkové zkoušky :</b>	<b>0</b>	[-] ISO 2409
<b>Jednotky lesku :</b>	<b>42,1</b>	[-] ISO 2813
<b>Hodnota barevné odchylky :</b>	<b>0,52</b>	[ΔE] ISO 7724
<b>Hodnota a :</b>	<b>-0,11</b>	[-] ISO 7724
<b>Hodnota b :</b>	<b>0,22</b>	[-] ISO 7724
<b>Hodnota L :</b>	<b>94,2</b>	[-] ISO 7724
<b>Průměrná tloušťka povlaku :</b>	<b>112,7</b>	[μm] ISO 2808
<b>Bodové tloušťky povlaku :</b>	<b>123,111,78,114,124,113,121,111,120</b>	[μm] ISO 2808



*Obr. 5.19 Mřížková zkouška pro vzorek 4*

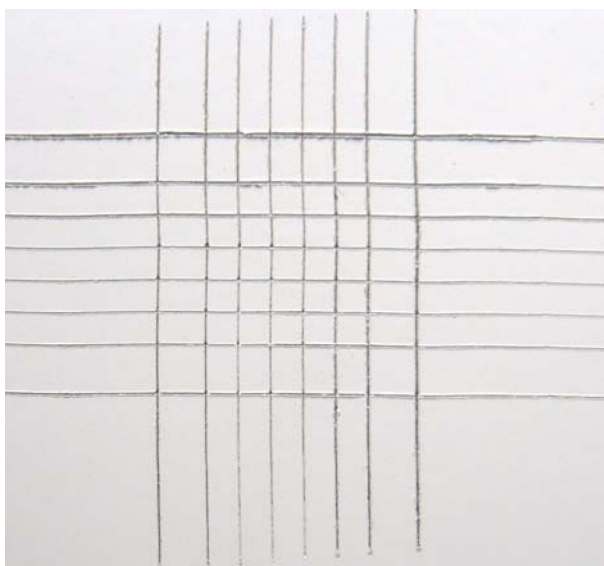
Vzorek 4 v přilnavosti již splňuje výrobcem předepsaný stupeň 0 pro hodnocení mřížkové zkoušky. Lesk se výrazně snížil, proti předchozímu vzorku, ale stále se nenachází v předepsaném rozmezí. Barevná odchylka stále v normě.

- **Vzorek 5**

Vzorek 5 je vytvrzen při teplotě 180 °C. Tato teplota je doporučená vytvrzovací teplota výrobcem barvy a při této vytvrzovací hodnotě by naměřené hodnoty měly odpovídat hodnotám uvedeným v technickém listě použité barvy (příloha 2).

Tab. 5.6 Výsledné hodnoty pro vzorek 5

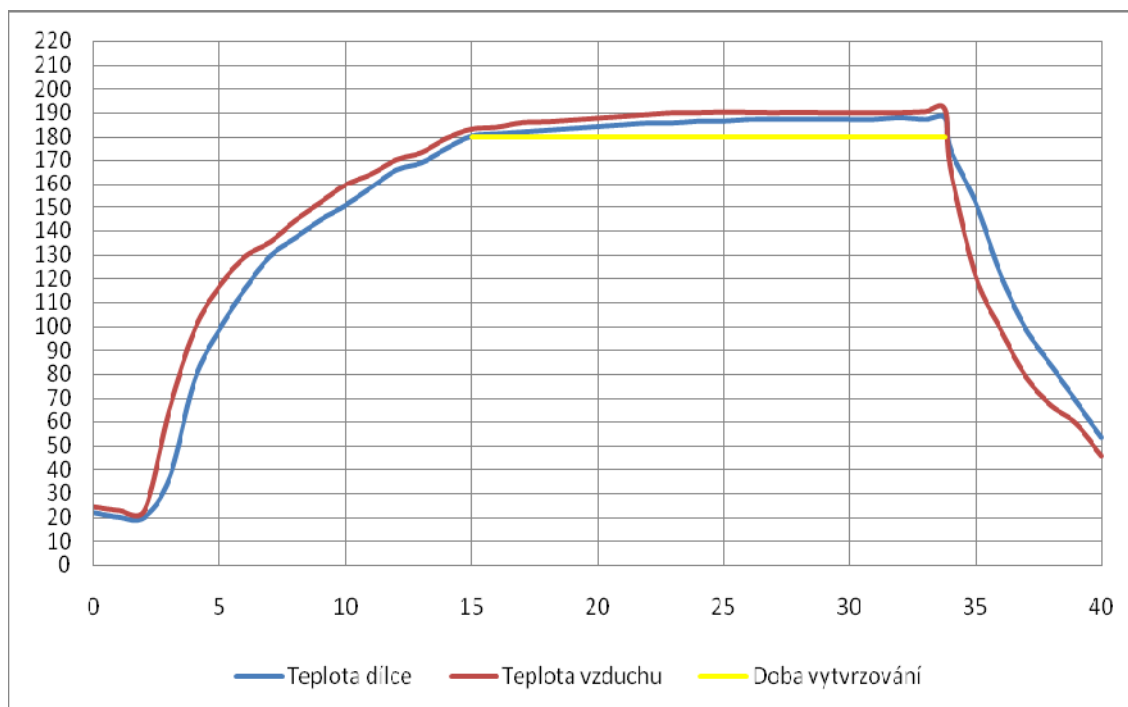
<b>Vzorek č. :</b>	<b>5</b>	Jednotka/ISO
<b>Vytvrzovací podmínky :</b>	<b>180/20</b>	[°C/min]
<b>Hodnocení mřížkové zkoušky :</b>	<b>0</b>	[-] ISO 2409
<b>Jednotky lesku :</b>	<b>24,7</b>	[-] ISO 2813
<b>Hodnota barevné odchylky :</b>	<b>0</b>	[ΔE] ISO 7724
<b>Hodnota a :</b>	<b>-0,39</b>	[-] ISO 7724
<b>Hodnota b :</b>	<b>-0,05</b>	[-] ISO 7724
<b>Hodnota L :</b>	<b>93,85</b>	[-] ISO 7724
<b>Průměrná tloušťka povlaku :</b>	<b>89</b>	[μm] ISO 2808
<b>Bodové tloušťky povlaku :</b>	<b>61, 86,95,83, 70, 66, 65,70, 69</b>	[μm] ISO 2808



Obr. 5.20 Mřížková zkouška pro vzorek 5



Hodnoty naměřené pro vzorek 5 skutečně odpovídají hodnotám, kterých by mělo být dosaženo při optimálním vytvrzení. Lesk je na úrovni 24,7 jednotek lesku, což je těsně pod horní hranicí intervalu pro lesk. Mřížková zkouška je hodnocena stupněm 0. Vzorek 5 je v měření barevné odchylky použit jako etalonový, proto je barevná odchylka rovna nule a odchylka ostatních vzorků je posuzována vzhledem k vzorku 5.



*Graf. 5.1 Průběh teplot při vytvrzování vzorku 5*

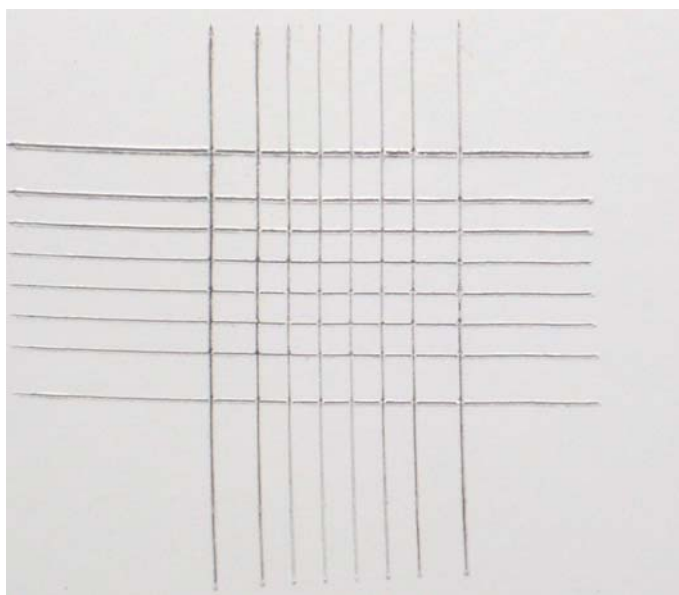
Z grafu, ve kterém jsou vykresleny průběhy jednotlivých teplot při vypalování, je patrné, že při nastavených vytvrzovacích podmínkách 180 °C/20 min je barva dostatečně vytvrzena. Software pro měření průběhu vytvrzovací teploty vypsál hodnotu vytvrzení na 113 %. Je to způsobeno tím, že téměř v celém průběhu vytvrzování byla teplota v peci o několik stupňů vyšší než 180 °C.

- **Vzorek 6**

Vzorek 6 je vytvrzen při 200 °C, pro tuto teplotu by se dle vytvrzovací křivky (obr. 5.1) měla zkrátit vytvrzovací doba na 10 min. Při konstantní vytvrzovací době 20 min. je očekáváno přepálení vzorku.

Tab. 5.7 Výsledné hodnoty pro vzorek 6

<b>Vzorek č. :</b>	<b>6</b>	Jednotka/ISO
<b>Vytvrzovací podmínky :</b>	<b>200/20</b>	[°C/min]
<b>Hodnocení mřížkové zkoušky :</b>	<b>0</b>	[-] ISO 2409
<b>Jednotky lesku :</b>	<b>14,8</b>	[-] ISO 2813
<b>Hodnota barevné odchylky :</b>	<b>2,85</b>	[ΔE] ISO 7724
<b>Hodnota a :</b>	<b>-0,86</b>	[-] ISO 7724
<b>Hodnota b :</b>	<b>2,75</b>	[-] ISO 7724
<b>Hodnota L :</b>	<b>93,66</b>	[-] ISO 7724
<b>Průměrná tloušťka povlaku :</b>	<b>112,4</b>	[μm] ISO 2808
<b>Bodové tloušťky povlaku :</b>	<b>90,100,115,121,113,108,121,124,120</b>	[μm] ISO 2808

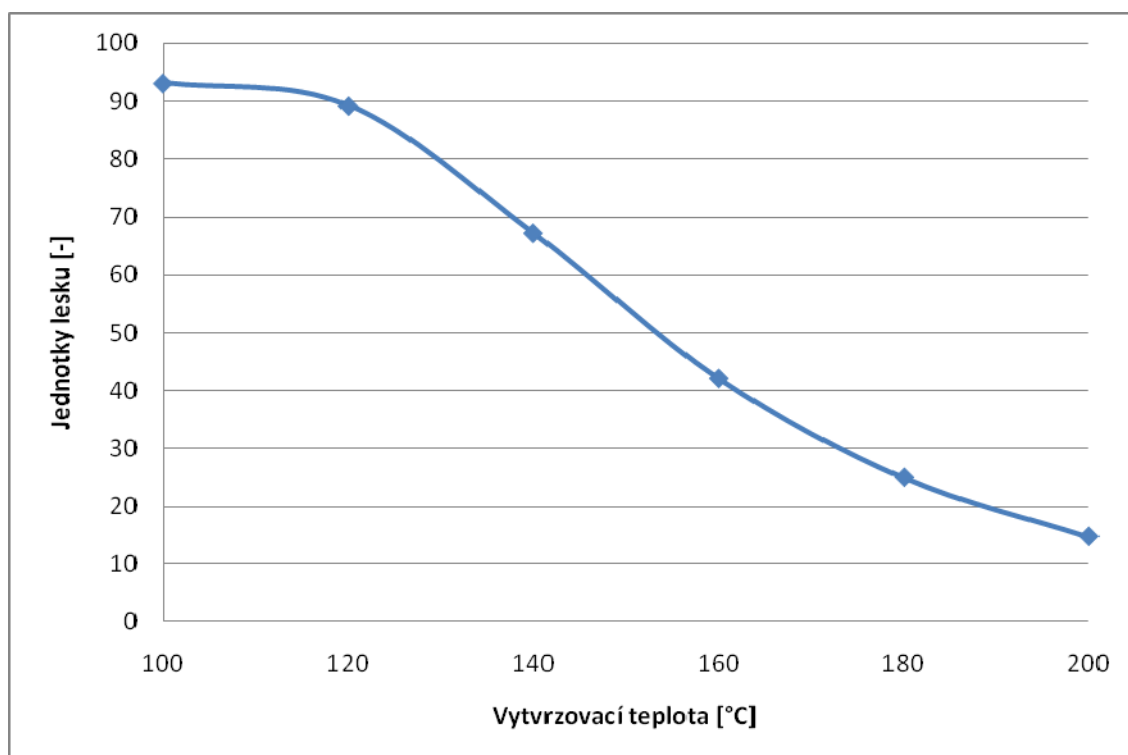


Obr. 5.21 Mřížková zkouška pro vzorek 6

Výsledky měření skutečně ukazují, že vzorek je nadměrně vytvrzen. Projevuje se to především snížením jednotek lesku, pod dolní hranici intervalu a změnou barevné odchylky. Barevná odchylka má hodnotu 2,85, což je hodnota rozlišitelná lidským okem. Při pohledu na jednotlivé souřadnice barevného systému je zřejmé, že došlo k výraznému nárůstu souřadnice b v kladném směru. Kladný směr osy b určuje podíl žluté barvy. Důsledkem nadměrného vytvrzení, je tedy především změna bílého odstínu směrem ke žlutým odstínům. Tato odchylka u bílých odstínů není způsobena pigmentem. Pro bílé odstíny se používá pigment

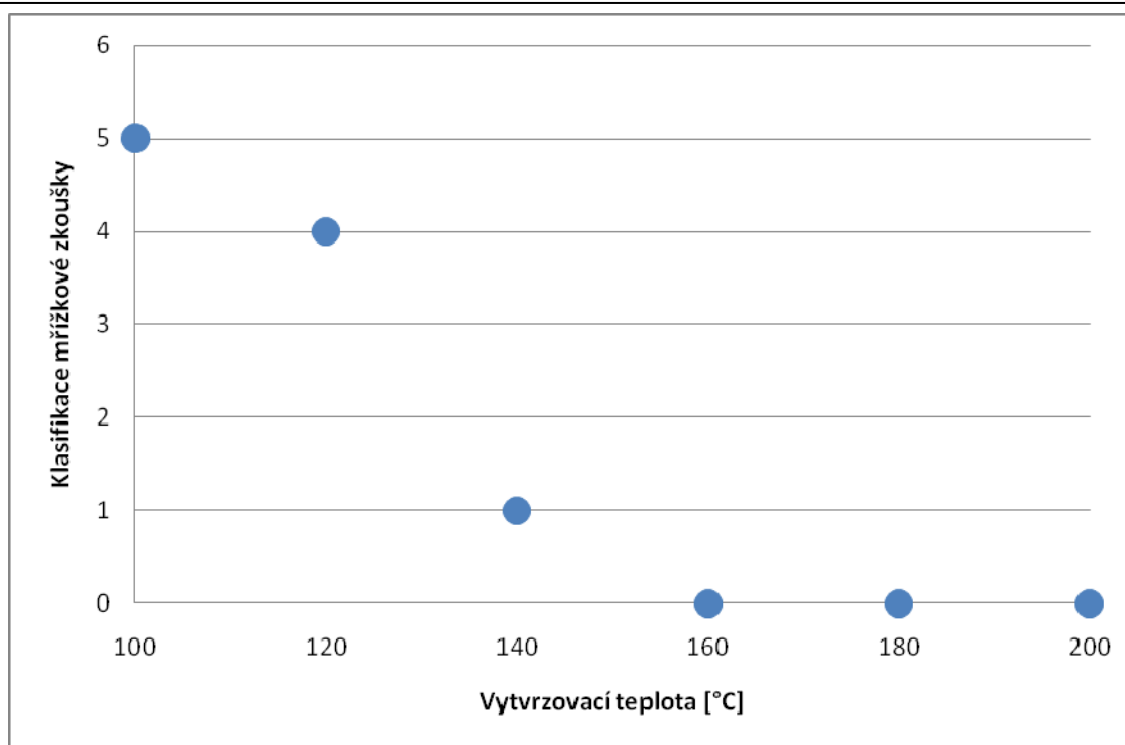
TiO<sub>2</sub>, který při přepálení nežloutne. V tomto případě je změna způsobena především pojivem. Pojiva podpořená použitými aditivy, která fungují jako katalyzátory polymerace, nadměrným teplem degradují. Dochází tedy k degradaci vazeb mezi atomy organického polymeru.

#### 4.3.2 Celkové hodnocení vzorků



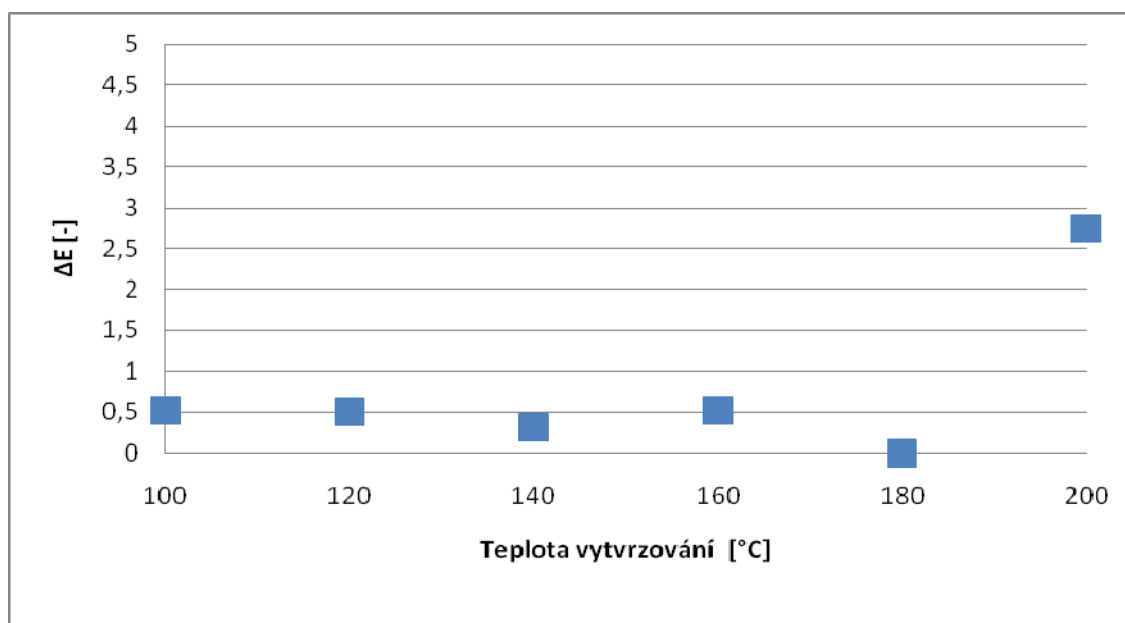
*Graf. 5.2 Závislost jednotek lesku na vytvrzovací teplotě*

Z grafu závislosti lesku je patrné, že lesk klesá s nárůstem vytvrzovací teploty. Výrobce předepsané oblasti v jednotkách lesku dosahuje těsně před vytvrzovací teplotou 180 °C a druhá hranice leží těsně před 190 °C. Změna lesku v závislosti na teplotě je způsobena přítomností matovadla, které je přidáno do práškové barvy jako přísada. V případě barev, bez přítomnosti matovadla by lesk povlaku nezávisel na vytvrzovací teplotě, ale především na složení barvy.

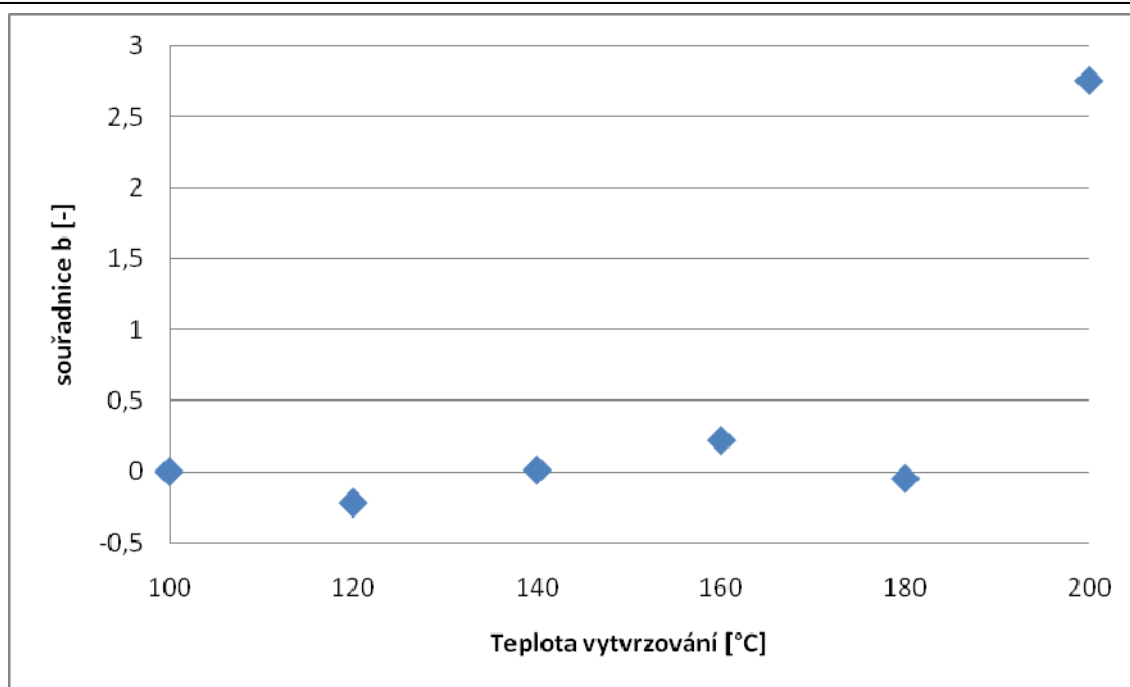


*Graf. 5.3 Závislost hodnocení mřížkové zkoušky na vytvrzovací teplotě*

Pro závislost přilnavosti povlaku na základním materiálu hodnocenou mřížkovou zkouškou přilnavosti v závislosti na vytvrzovací teplotě je zřejmé, že vytvrzení z pohledu přilnavosti by nastalo již při vytvrzovací teplotě 160 °C. Intenzivní nárůst přilnavosti nastává mezi 120 °C a 160 °C, kdy se hodnocení změní hned o 4 stupně hodnocení.



*Graf. 5.4 Závislost barevné odchylky  $\Delta E$  na vytvrzovací teplotě*



*Graf. 5.5 Závislost souřadnice „b“ na vytvrzovací teplotě*

Grafy závislostí barevné odchylky  $\Delta E$  a velikosti hodnoty na ose b v barevném prostoru CIELab v závislosti na vytvrzovací teplotě jsou velmi podobné. Do vytvrzovací teploty 180 °C je barevná odchylka zanedbatelná, menší než 1. Výrazný rozdíl nastává v obou grafech až při překročení vytvrzovací teploty 180 °C. Nárůst v barevné odchylce je způsoben růstem velikosti kladné hodnoty na ose b, přičemž ostatní hodnoty L i a zůstávají na přibližně stejných hodnotách jako v případech ostatních vytvrzovacích teplot.

#### **4.4 Ekonomické hodnocení vytvrzování**

Vytvrzovací podmínky mají zásadní roli při kalkulaci nákladů na 1 m<sup>2</sup> lakované plochy především proto, že vytvrzování je časově nejdelší a energeticky nejnáročnější částí celého procesu práškového lakování. Prášková barva s rychlejším vytvrzováním umožní buď snížení potřebné teploty při stejném čase, nebo kratší čas při stejné teplotě, proti barvě s pomalejším vypalováním. Ekonomické hodnocení je vždy závislé na konkrétních podmínkách lakovny a lakovaných dílech. V příkladě je uvedena kalkulace pro lakovnu, ve které není dostatečná kapacita vytvrzovací pece a zároveň nejsou dostatečně využita pracoviště předúpravy a aplikace práškové barvy. Pro tuto lakovnu je výhodné zkrácení vytvrzovací doby. Zkrácení doby umožňuje zvýšit počet závážek do pece během jedné směny z 8 na 12. Fixní náklady jsou pro

oba případy stejné. Cenový rozdíl běžné barvy, proti barvě s kratší dobou vytvrzování je 10 %.

- **Barva s vytvrzovacími podmínkami 180 °C/20 min**

Kalkulace nákladů:

Kalkulace tržeb:

Zisk:

$$N = F + V \cdot q$$

$$T = p \cdot q$$

$$Z = T - N$$

$$N = 2500 + 950 \cdot 8$$

$$T = 1500 \cdot 8$$

$$Z = 12000 - 10100$$

$$N = 10100 \text{ Kč}$$

$$T = 12000 \text{ Kč}$$

$$Z = 1900 \text{ Kč}$$

- **Barva s vytvrzovacími podmínkami 180 °C/10 min**

Kalkulace nákladů:

Kalkulace tržeb:

Zisk:

$$N = F + V \cdot q$$

$$T = p \cdot q$$

$$Z = T - N$$

$$N = 2500 + 1100 \cdot 12$$

$$T = 1500 \cdot 12$$

$$Z = 18000 - 15700$$

$$N = 15700 \text{ Kč}$$

$$T = 18000 \text{ Kč}$$

$$Z = 2300 \text{ Kč}$$

F – fixní náklady [Kč]

V – variabilní náklady [Kč]

q – počet zavážek [ks]

p – cena lakování zavážky [Kč]

T – tržby [Kč]

N – náklady [Kč]

Z – zisk [Kč]

Při porovnání kalkulací zjistíme, že bez jakékoliv investice se zvýší zisk z 1900 Kč na směnu na 2300 Kč na směnu. Umožní ho zvýšení produktivity u všech pracovišť i pracovníků v lakovně.

## ZÁVĚR

Úkolem práce bylo provedení práškového povlaku na 6-ti kusech vzorků, stanovení vhodných podmínek pro předúpravu, aplikaci práškové barvy a její vytvrzení. Dalším úkolem bylo ověření vlastností práškového povlaku v závislosti na teplotě vytvrzování. Hodnocena byla přilnavost, barevná odchylka  $\Delta E$  a jednotky lesku.

Jako nejvhodnější metoda předúpravy byl vybrán postřik tlakovou vodou v kombinaci se železitým fosfátem, který vytvoří odpovídající konverzní vrstvu pro přilnutí práškového povlaku. Výhody tohoto způsobu předúpravy jsou především univerzálnost použití, snadná dostupnost technologie a ekologická nezávadnost.

Aplikace práškové barvy byla provedena ruční nanášecí pistolí metodou tribo. Tato technologie byla zvolena z důvodů malého počtu vzorků.

Vytvrzování vzorků bylo provedeno v komorové horkovzdušné peci. Při vytvrzování etalonového vzorku byly nastaveny výrobcem doporučené vytvrzovací podmínky 180 °C/20 minut a bylo provedeno měření teplotních křivek. Softwarem určeným pro měření hodnot vytvrzení, který využívá teplotních křivek, bylo zjištěno, že při těchto podmínkách došlo k nepatrnému přepálení, které však podle pozdějších měření nijak neovlivnilo vlastnosti povlaku. Barva byla vytvrzena na 113 %.

Při ověřování závislosti lesku na vytvrzovací teplotě bylo zjištěno, že požadované hodnoty lesku dosáhne povlak právě při výrobcem doporučených vytvrzovacích podmínkách. Naměřeno bylo 24,7 jednotek lesku.

Pro měření přilnavosti byl požadovaný stupeň klasifikace mřížkové zkoušky stupněm 0 dosažen již při vytvrzovacích podmínkách 160 °C/20 minut.

Barevná odchylka se v závislosti na vytvrzovací teplotě s výjimkou nadměrně vytvrzeného vzorku měnila pouze minimálně. Odchýlení odstínu bylo patrné až při přepálení vzorku při vytvrzovacích podmínkách 200 °C/20 minut. Došlo k zežloutnutí vzorku v důsledku degradace vazeb mezi atomy organického polymeru. Barevná odchylka dosáhla hodnoty  $\Delta E = 2,75$ .

Z výsledků práce je patrné, že vhodné stanovení teploty a doby vytvrzování je složitá operace, vyžadující akceptování mnoha poznatků z oblasti vlastností jednotlivých komponent práškových barev, průběhů teplot při vytvrzování ale i ekonomických zákonů.

Rozsah vytvrzovacích podmínek použitelných při splnění všech požadavků na vlastnosti práškového povlaku je určen typem použité barvy, proto se při optimalizaci musíme věnovat i výběru vhodné barvy. Z ekonomického hodnocení je patrné, že použití barvy s kratší dobou

vytvrzování při konstantní teplotě, umožní v daném provozu zvýšení produktivity jednotlivých pracovišť a v konečném důsledku i zvýšení zisku.

Výsledky práce lze využít v praxi v práškových lakovnách při hodnocení defektů, vzniklých při vytvrzování práškových povlaků.



**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ****Monografie**

1. MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 1995. 156s. ISBN 80-7078-267-6.
2. SEDLÁČEK, V. *Povrchy a povlaky kovů*. 1vyd. Praha: Ediční středisko ČVUT Praha. 1992. 176s. ISBN 80-01-00799-5.
3. PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 1994. 76s. ISBN 80-7078-235-8.

**Elektronická monografie**

4. BLAŽEK, J. *Moderní úpravy práškovými laky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 37 s., 3 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.
5. KAVALÍR, V. *Nové metody galvanické úpravy kovů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.
6. KLIMEŠ, Luboš. *O historii a výrobě práškových plastů*. Povrchové úpravy. 2003, roč. 2003, č. 3, s. 18-19. ISSN 0551-7354
7. KUBÍČEK, Jaroslav. *Renovace a povrchové úpravy* [online]. Brno: Ing. Jaroslav Kubíček, 2006. Dostupný z [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/renovace\\_a\\_povrchove\\_upravy\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/renovace_a_povrchove_upravy_kubicek.pdf)
8. STEINER, Pavel. *PRÁŠKOVÉ BARVY A MOŽNOSTI JEJICH POUŽITÍ* [online]. 2008 [cit. 2009-03-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.povrchovauprava.cz/clanek/24/praskove-barvy-a-moznosti-jejich-pouziti>>.

9. STEINER, Pavel. Vlivy vypalování práškových barev na výsledné vlastnosti hotového povlaku. In *Komaxit 2005*. 2005. vyd. [s.l.] : [s.n.], 2005. s. 1-100. Dostupný z WWW: <[http://www.podporakomaxit.cz/konference/BALAKOM\\_sbornik.pdf](http://www.podporakomaxit.cz/konference/BALAKOM_sbornik.pdf)>.

10. VÍK, Michal. *Měření barevnosti a vzhledu* [online]. 2008 [cit. 2008-03-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=22867](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22867)>.

### **Www stránka**

11. *BARVY CZ : Vzorník barev RAL* [online]. 2008 [cit. 2009-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.barvy.cz/view.php?nazevclanku=vzornik-barev-ral&cislocclanku=2008010002>>.

12. *GALATEK* [online]. 2007 [cit. 2008-03-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.galatek.cz>>.

13. *Harley-Davidson*, obrázek. [online]. Dostupný z WWW: < <http://www.harley-davidson-praha.cz/?page=moto&subpage=harley&rada=softail#fxcw>>.

14. *IGP – Pulvertechnik AG* [online]. 2008. Dostupný z WWW: <<http://www.igp.ch>>.

15. *JEVAN* [online]. 2008 , 2007 [cit. 2008-04-13]. Obrázek. Dostupný z WWW: <<http://jevan.cz/php/VP.PRSTEN031.php>>.

16. *Nordson CS* [online]. 2008 [cit. 2008-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.nordson.cz/Businesses/Powder/Products/ManualGuns/surecoatmanualgunsystem.htm>>.

17. *OK-COLOR : Práškové barvy* [online]. 2004 [cit. 2009-05-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.okcolor.cz/cz/praskove-barvy/>>.

18. *Povrchové úpravy* [online]. 2008. Dostupný z WWW: <<http://www.povrchoveupravy.cz>>.

19. *Práškové lakování v kostce [online]. 2007 , 2007 [cit. 2009-05-11]. Obrázek. Dostupný z WWW: <[http://www.salum.cz/cz\\_press\\_praskove\\_lakovani.htm](http://www.salum.cz/cz_press_praskove_lakovani.htm)>.*
20. *RAL K7 [online]. 2009 [cit. 2009-05-14]. Dostupný z WWW: <[http://www.dtpobchod.cz/ral-k7\\_d14651.html](http://www.dtpobchod.cz/ral-k7_d14651.html)>.*
21. *Tiger coatings [online]. 2008 , 2008 [cit. 2009-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.tiger-coatings.com/index.php?id=384&L=8&C=0>>.*
22. *Výroba práškových barev [online]. 2008 [cit. 2009-03-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.tiger-coatings.com/index.php?id=385&L=8&C=0>>.*

### **Normy**

23. *Česká technická norma : Nátěrové hmoty-Mřížková zkouška ISO 2409. Praha : Český normalizační institut, 2007. 16 s.*

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ****Zkratka/Symbol    Jednotka    Popis**

+a	[-]	Hodnota červené
+b	[-]	Hodnota žluté
-a	[-]	Hodnota zelené
-b	[-]	Hodnota modré
D65	[-]	Druh osvětlení při měření barevné odchylky
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[-]	Oxid železitý
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	[-]	Oxid železnato-železitý
FeO	[-]	Oxid železnatý
G	[S]	Elektrická vodivost
H <sub>2</sub>	[-]	Vodík
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	[-]	Kyselina sírová
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	[-]	Dichroman draselný
L	[-]	Hodnota jasu
MDF	[-]	Medium density fibreboard
n	[-]	Počet měření
N	[Kč]	Náklady
p	[Kč]	Cena za lakování jedné zavážky
q	[ks]	Počet zavážek do pece
T	[Kč]	Tržby
TGIC		Triglycidylisocyanurát
TiO <sub>2</sub>	[-]	Oxid titaničitý
$\bar{x}$	[μm]	Aritmetický průměr tloušťek povlaku
x	[μm]	Hodnota bodové tloušťky povlaku
Z	[Kč]	Zisk
ΔE	[-]	Velikost barevné odchylky

**SEZNAM PŘÍLOH**

1. Technický list – Tloušťkoměr Elcometer® 415
2. Technický list – Color CPC-41
3. Technický list – Fotospektrometr Byk Gardner

## Digitální tloušťkoměr Elcometer 415

Jednoduchý tloušťkoměr na měření povlaku, který je určen pro použití na feromagnetických povlacích (ocel) a na neferomagnetických povlacích (hliník).



### Ve zkratce:

- Rychlý, přesný & jednoduché použití
- Velký displej
- Automatické přepínání mezi feromagnetickými a neferomagnetickými podklady
- Široká podstava „Big Foot®“ pro opakovaná měření
- Zobrazení pomocných údajů na displeji

### Charakteristika přístroje:

- **Rychlé a spolehlivé měření**  
(až 60 měření za minutu)
- **Velký, snadno čitelný displej**  
(plochý displej pro snadné odečítání hodnot z různých úhlů)
- **Automatické přepnutí mezi feromagnetickými a neferomagnetickými podklady**  
(ideální pro měření povlaku práškových barev na oceli nebo hliníkovém povrchu)
- **Metrické nebo britské měrné jednotky**  
(může být zobrazeno na displeji v mikrometrech nebo milsech)
- **Široká podstava „Big Foot®“ pro opakovaná měření**  
(integrována sonda pro měření na hladkém, plochém povrchu)
- **Ergonomický tvar a design pro maximální komfort**  
(jednoduše uchopitelný přístroj pro snadné každodenní použití)
- **Zobrazení pomocných návodů na displeji**  
(uživatelé jsou zobrazovány pomocné instrukce ve více než 20 jazycích)
- **Vysoká spolehlivost a odolnost**  
(vyroben z ABS plastu, odolná sonda pro měření povlaku práškových barev)

### Tloušťkoměry

Digitální tloušťkoměry jsou malé a přenosné přístroje s jednoduchým použitím pro měření tloušťky povlaků na všech kovových podkladech. Jsou přesnější než přístroje analogové, měření je opakovatelné a reprodukovatelnější než s kterýmkoliv jiným typem tloušťkoměru na trhu.

Mechanické přístroje jsou vhodné při měření na aplikacích, kde není možno použít baterie (pod vodou, ve výbušných prostředích apod.)

Elcometer nabízí světově nejkomplexnější rozsah přenosných digitálních i mechanických tloušťkoměrů – pro měření na feromagnetických podkladech (F), neferomagnetických podkladech (NF) nebo na kombinovaných podkladech (FNF).

Tento přístroj odpovídá následujícím normám (a jejich českým a slovenským ekvivalentům):

BS 5411 (11) (3)	BS 3900 (C5)
BS 5599	BS EN ISO 1461
ISO 2178	ISO 2360
ISO 2808	SSPC-PA2 2004
DIN 50984	DIN 50981
ASTM B 244	ASTM B 499
ASTM D 1400	ASTM D 1186

..... **změřte si svůj úspěch**

## TECHNICKÁ SPECIFIKACE

Rozsah stupnice	0 - 1000 $\mu\text{m}$
Přesnost	$\pm 3\%$ nebo $\pm 3 \mu\text{m}$
Rozlišení	1 $\mu\text{m}$
Rychlost měření	Více než 60 měření za minutu
Hmotnost	130 g
Rozměry	110 x 75 x 35 mm
Provozní teplota	0 - 50°C
Maximální teplota	80 °C
Teplota pro skladování	-10° to 55°C
Obal	odolný plast ABS
Baterie	2 x LR03 (AAA) alkalické baterie nebo dobíjecí
Balení	<b>Pro měření povlaku nátěrů a práškových nátěrových hmot:</b> přístroj Elcometer 415, 4 x fólie (50, 125, 500 & 1000 $\mu\text{m}$ ), lehká brašna, baterie a návod <b>Pro automobilový průmysl:</b> přístroj Elcometer 415, 4 x fólie (50, 125, 500 & 1000 $\mu\text{m}$ ), zkušební vzorek, lehká brašna, baterie a návod
Objednací číslo	<b>Pro měření povlaku nátěrů a práškových nátěrových hmot:</b> A415FNF <b>Pro automobilový průmysl:</b> A415FNFI1AUTO

## Příslušenství / Náhradní díly:

Feromagnetické standardy - 2 hodnoty (50 a 250 $\mu\text{m}$ ) s nulovou destičkou	T995166001
Feromagnetické standardy - 4 hodnoty (50, 150, 250 a 500 $\mu\text{m}$ ) s nulovou destičkou	T995111261
Neferomagnetické fólie standardy 2 hodnoty (50 a 250 $\mu\text{m}$ ) s nulovou destičkou	T995166011
Neferomagnetické fólie 4 hodnoty (50, 150, 250 a 500 $\mu\text{m}$ ) s nulovou destičkou	T995111271
Feromagnetická destička	T99916925
Neferomagnetická destička	T99916901
Fólie: 25 $\mu\text{m}$ / 1mil	T9904170-
Fólie: 50 $\mu\text{m}$ / 2mil	T9904171-
Fólie: 75 $\mu\text{m}$ / 3mil	T99011411
Fólie: 125 $\mu\text{m}$ / 5mil	T9904172-
Fólie: 250 $\mu\text{m}$ / 10mil	T9904174-
Fólie: 500 $\mu\text{m}$ / 20mil	T9904175-
Fólie: 1000 $\mu\text{m}$ / 1mil	T9904176-

..... změřte si svůj úspěch

Podobné přístroje v sortimentu:**Elcometer 355**

umožňuje provádět měření tloušťky povlaku, podle typu zvolené sondy, jak na feromagnetických, tak na neferomagnetických podkladech.

**Feromagnetický podklad** např.: barvy, plasty, emaily, práškové barvy, pryž, galvanické povlaky na oceli, litině, železu atd.

**Neferomagnetický podklad** např.: anodové povlaky, barvy, práškové barvy, laky, umělé hmoty na hliníku, mosazi, zinku, nerezové oceli, mědi, titanu atd



**Elcometer 456** je pro svou jednoduchost nejpoužívanějším digitálním tloušťkoměrem na trhu.

Je dostupný ve třech verzích – **Basic, Standard a Top**, ve variantě s vestavěnou sondou nebo se širokou škálou oddělených sond.

Široký rozsah možností Elcometeru 456 vyhoví všem Vaším požadavkům.

**..... změřte si svůj úspěch**



## CPC - 41

## HYBRIDNÍ PRÁŠKOVÉ BARVY NA BÁZI EPOXY-POLYESTERU

1412003

### Popis výrobku:

CPC 41 je série práškových barev na bázi polyesteru, modifikovaného epoxydovou pryskyřicí. Nabízí tak velmi dobré aplikační vlastnosti.

CPC 41 hybridní práškové barvy jsou speciálně vyvinuty pro vnitřní aplikaci s vhodnou kombinací dekorativní úpravy a funkčních vlastností.

### Aplikace:

- Kovový nábytek
- Radiátory
- Strojní komponenty, nářadí a doplňky
- Domácí zařízení
- Regálové systémy
- Světelné vybavení
- Kovové hračky

### Vlastnosti:

- výborné mechanické vlastnosti
- dobrý rozliv
- dobrá elasticita
- dobrá skladovatelnost

**Skladovací doba:** 18 měsíců

**Balení:** Kartonové krabice - 20 kg

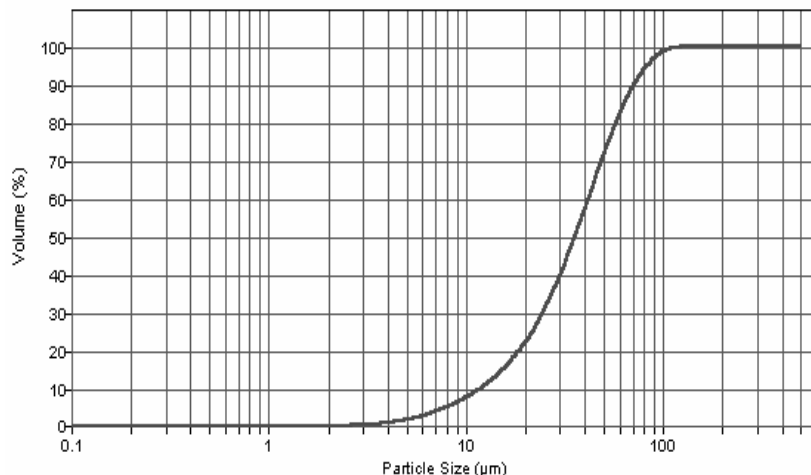
**Skladovací podmínky:**

V originálně zabalených krabicích na suchém místě při teplotě 5-25°C

### Specifikace barvy:

**Odstín:** převážně odstíny RAL a NCS; speciální barvy lze přizpůsobit  
**Povrchový efekt:** hladký, s efektem / strukturou  
**Lesk:** lesk ( $\geq 80\%$ ), polomat (50-70%), mat (15-25%), hluboký mat ( $< 10\%$ )  $\angle 60^\circ$   
**Hustota:** 1400-1700 kg/m<sup>3</sup>, v závislosti na odstínu  
**Lakovací zařízení:** elektrostatika, tribo  
**Vydatnost:** 9 – 12 m<sup>2</sup>/kg při tloušťce vrstvy 70  $\mu\text{m}$

### Rozdělení velikosti částic:



D (0.9) = 80-100  $\mu\text{m}$

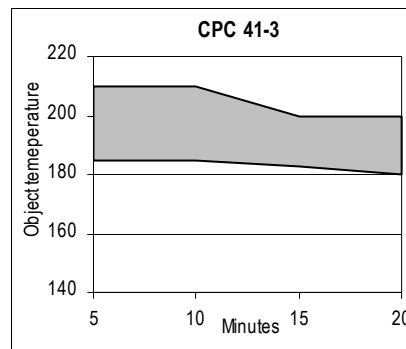
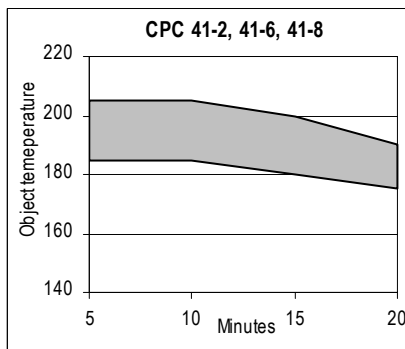
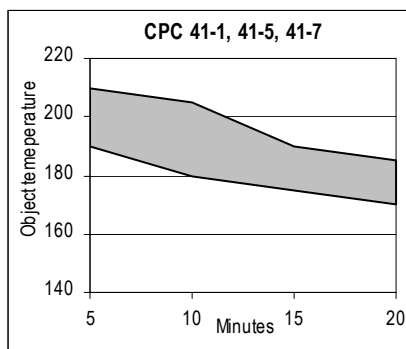
D (0.5) = 35-45  $\mu\text{m}$

D (0.1)  $\approx 10 \mu\text{m}$

### Povrchová předúprava:

**Hliník:** žluté nebo zelené chromátování  
**Pozinková ocel:** transparentní chromátování  
**Železo:** zinkové fosfátování nebo železité fosfátování (nízké nebo vysoké)

## Vytvrzování:



## Výsledky testu :

**Fyzikální vlastnosti** (0,8 mm ocelový plech)

**Vytvrzovací parametry (parametry objektu)**

Tloušťka vrstvy v  $\mu\text{m}$  (ISO 2808)

Stupeň lesku  $\angle 60^\circ$  (ASTM 523, DIS 2813)

Adheze (ISO 2409)

Zkouška ohybu (ISO 1519)

Elasticita - test hloubením (DIN ISO 1520)

Tvrdost (Bucholz) (ISO 2815)

**Chemické vlastnosti** (plech Granodine 1993 Henkel)

Solná komora 500 h (DIN 50021 SS)– podkorodování v řezu:

Mízná komora 500 h (DIN 50017 SK)– podkorodování v řezu:

**Lesk**

**10 min / 180°C**

60-70

$\geq 80$

Gt0

$\geq 3$

7-8

$\geq 91$

**Polomat**

**10-15 min / 180°C**

60-70

50-70

Gt0

$\geq 4$

6

$\geq 91$

**Mat**

**20 min / 180°C**

60-70

15-25

Gt0

$\geq 5$

4

$\geq 91$

max. 1 mm

max. 1 mm

max. 1 mm

max. 1 mm

max. 1 mm

max. 1 mm

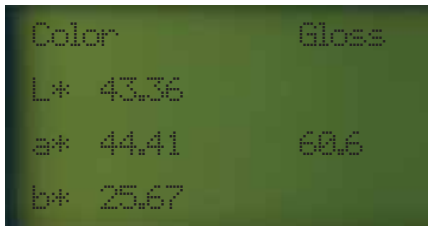
Tyto technické informace byly sestaveny na základě našich vědomostí, laboratorních testů a praktických zkušeností. V případě aplikací výrobku v uživatelských podmínkách, které jsou mimo naši kontrolu, nemůžeme převzít odpovědnost a garantujeme pouze kvalitu barvy jako takovou. Color si vyhrazuje právo měnit technické údaje o výrobku bez předešlého upozornění.

**Systém kvality je řízen v souladu s požadavky mezinárodních standardů jakosti ISO 9001.**

### Total Appearance Control – color and gloss in one unit.

The overall appearance of a product is influenced by color and gloss. A sample of the same color but higher gloss level is visually perceived darker and more saturated than a low gloss sample. In order to get a uniform appearance, both attributes need to be controlled. The spectro-guide is unique as it measures both attributes simultaneously. Thus, the cause of a mismatch can be clearly defined in any situation.

- Color (45/0 or sphere) and 60° gloss are displayed at the same time
- In compliance with international specifications
- Tolerances for color and gloss allow quick pass/fail decisions in production



### Easy to use and handle

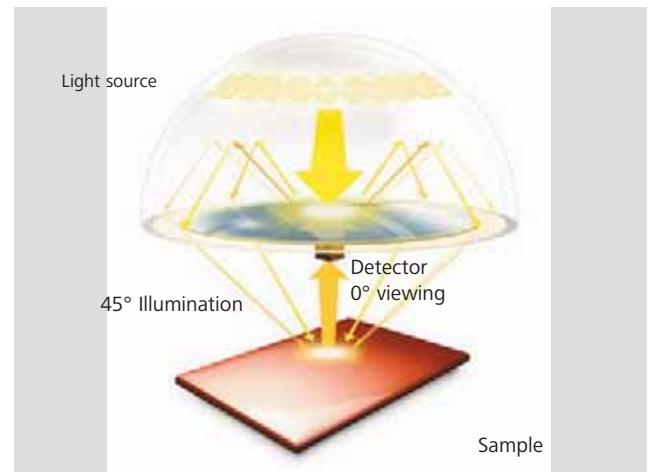
The spectro-guide makes quality control simple and secure - even for color beginners. Thanks to the intuitive pulldown menu and the four-cursor button operation, quality control has never been easier.

- Light weight and small size - weighs only 500 g
- Ergonomic design - can easily measure difficult to access areas
- Designated buttons for standard and sample readings
- Customization of the display to your needs



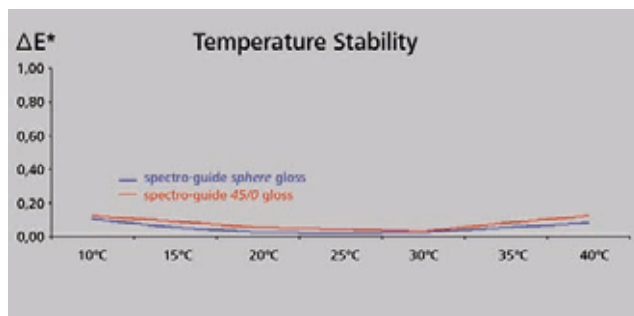
### Highly repeatable on textured surfaces

The key criterion for a 45/0 instrument is a circumferential illumination. spectro-guide 45/0 is using a unique, patented measurement principle to achieve a 100 % circumferential illumination. A white coated hemisphere acts as a mixing chamber and guarantees completely uniform illumination. Thus, any influence of measurement direction is eliminated and excellent repeatability even on highly textured surfaces is guaranteed.



#### **Measurement principle spectro-guide 45/0**

*True circumferential illumination for best repeatability on textured samples.*



### Always precise color values

With the new spectro-guide you can measure any color: dark - brilliant - steep reflectance curves.

The 10 nm spectral resolution not only ensures highly precise color results, but also an excellent agreement with competitive color instruments - even bench-top units.

Additionally, a patented illumination control provides temperature independent results - even in extreme conditions.

### Always ready to use

Economical and reliable operation of a color instrument is often taken as given. spectro-guide guarantees superior accuracy for many years and low maintenance efforts.

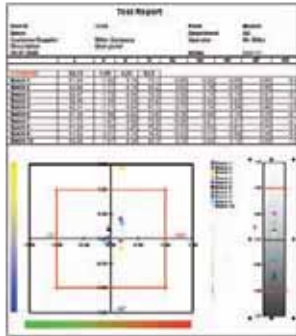
- Long lasting standard AA batteries - up to 8,000 readings per set
- 10 year warranty on the lightsource - no lamp changes needed
- Rugged and compact design
- Stable, long-term calibration - needed only every three months



## Professional Documentation with easy-link

No matter whether you want to compare a batch to a defined standard or monitor process changes over time, easy-link, included with spectro-guide, offers all of the necessary tools. Direct data transfer from the instrument into predefined QC templates makes you ready for routine color control.

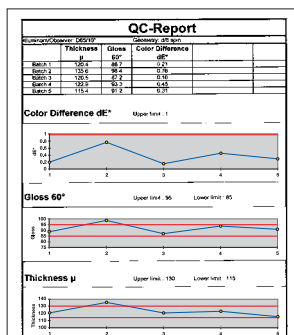
### Are all parts within specification?



The CIELab-Graph charts differences in color and lightness together with production tolerances.

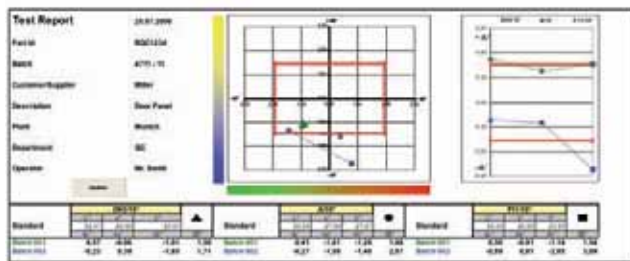
### Is production stable over time?

All data are summarized in a trend graph: Color, gloss, film thickness and your own product specific information.



### Do parts made out of different materials match?

Color differences are displayed simultaneously for three illuminants to control metamerism.



## Ordering Information

Cat. No.	Description
AG-4545	BYKWARE easy-link

### Hardware Requirements:

Operating system Windows® 95 or higher  
Microsoft Excel® 97 or higher, including VBA - Visual Basic for Applications;  
Free Serial Interface



## Easy Management of your Standards

### Manual entry of standards

If you have to match colors and the physical sample is no longer available, you can easily enter the spectral data in easy-link. The standards can then be transferred to spectro-guide for color QC.

### Back-up your standard data

For safety reasons, it is recommended to store your complete database of standards on the PC. They can be downloaded with the individual tolerances to spectro-guide – whenever needed.

### Establish your tolerances

The auto tolerancing function assists you in setting up the tolerances for Pass/Fail control. Measure at least 20 visually accepted production trials, transfer the readings to easy-link and have the tolerances automatically calculated for you – saving time and headaches.



*The new micro-TRI-gloss also transfers gloss values to easy-link, see page 21.*





## spectro-guide gloss S

## Color and Gloss Control of automotive interior parts

Most people consider color and gloss harmony of the car interior to be a key item when judging the perceived quality of a vehicle. Consequently, the quality requirements for the interior design of a car have increased over the last years. A variety of materials are used and need to be harmonized. To achieve a uniform look among the the interior trim parts, very tight tolerances are specified. Only instruments with excellent precision are able to objectively control the production.

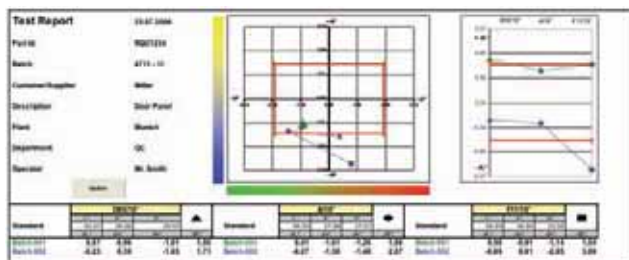


The new spectro-guide S family offers improved technical performance for 60° gloss in the low gloss range 0 - 10 GU. The excellent repeatability of  $\pm 0.1$  can be guaranteed due to a patented calibration procedure.

In addition, spectro-guide S offers unique benefits to always guarantee precise results:

- Highly repeatable results independent of measuring direction due to a patented, true circumferential illumination
- Long-term stable calibration - needed only every three months
- Temperature stable color and gloss data between 10 - 40°C
- 10 year warranty on the light source
- 10 nm resolution for precise readings on brilliant and dark colors
- Professional documentation with easy-link software

## Do parts made out of different materials match?



Color differences are displayed simultaneously for three illuminants to control metamerism.

## Training spectro-guide

BYK-Gardner offers you more than just an instrument. We assist you in analyzing your color readings, understanding how to set tolerances and as a result be able to use the spectro-guide to save time and money and at the same time improve your quality. Therefore, the instrument comes with a half day training course including:

### 1. Color Theory

- The building blocks of color: illuminant, observer, object
- Color differences with interpretation

### 2. Operation and Software Training

- Measure samples and standards by single and average readings
- Save, recall and delete measurements
- Change illuminants, observers, color scales
- Direct data transfer to easy-link



## Ordering Information

Cat. No.	Description	Color Geometry	Gloss Geometry	Color Aperture	Gloss Aperture
CC-6801	spectro-guide 45/0 gloss	45/0	60°	11 mm	5 x 10 mm
CC-6802	spectro-guide 45/0 gloss S	45/0	60°	11 mm	5 x 10 mm
CD-6834	spectro-guide sphere glos	d/8 spin	60°	11 mm	5 x 10 mm
CD-6836	spectro-guide sphere gloss S	d/8 spin	60°	11 mm	5 x 10 mm
SE-6800	Extended Warranty one year additional				

### Comes complete with:

spectro-guide, Black calibration standard, White calibration standard with certificate, Green checking reference, High gloss standard, Sample area locator, Software easy-link, Interface cable, 4 x AA batteries, Hand strap, Carrying case, Operating instructions, Color theory folder, Training

## Standards

	Color	Gloss
ASTM	D 2244, E 308, E 1164	D 523, D 2457
DIN	5033, 5036, 6174	67530
	ISO 7724	EN ISO 7668 DIN EN ISO 2813



For Calibration  
Services  
see page 331-335.



**Trade-in any spectrophotometer (all brands accepted) and receive a discount toward the purchase of a new spectro-guide spectrophotometer.**

(Credit applied upon receipt of trade-in). Credit for trade-in:  
\$ 1000 with the purchase of any new spectro-guide spectrophotometer

## Technical Specifications

Color	
<b>Spectral Range</b>	400 - 700 nm, 10 nm resolution
<b>Repeatability</b>	0.01 $\Delta E^*$ , 1 $\sigma^1$ (10 consecutive measurements on white)
<b>Reproducibility</b>	0.2 $\Delta E^*$ , 1 $\sigma^2$ (average on 12 BCRA II tiles)
<b>Color Systems</b>	CIE Lab/Ch; Lab(h); XYZ; Yxy
<b>Color Differences</b>	$\Delta E^*$ ; $\Delta E(h)$ ; $\Delta E_{FMC2}$ ; $\Delta E_{94}$ ; $\Delta E_{CMC}$ ; $\Delta E_{99}$ ; $\Delta E_{2000}$
<b>Indices</b>	YIE313; YID1925; WIE313; CIE; Berger; Color strength; Opacity; Metamerism
<b>Illuminants</b>	A; C; D50; D55; D65; D75; F2; F6; F7; F8; F10; F11; UL30
<b>Observer</b>	2°; 10°
<b>Gloss</b>	
<b>Repeatability</b>	0 - 100 GU $\pm 0.2$ GU <sup>3</sup> S family (0 - 10 GU) $\pm 0.1$ GU <sup>3</sup>
<b>Reproducibility</b>	$\pm 1.0$ GU <sup>3</sup> $\pm 0.5$ GU <sup>3</sup>
<b>Memory</b>	1500 Standards, 999 Samples
<b>Languages</b>	English; German; French; Italian; Spanish; Japanese; Chinese
<b>Power Supply</b>	4 AA alkaline; NiCd or MH batteries
<b>Operating Temperature</b>	50 °F - 110 °F (10 °C - 42 °C)
<b>Humidity</b>	< 85% relative humidity, non-condensing / 95 °F (35 °C)
<b>Dimensions</b>	3.7 x 3.2 x 7 in (9.5 x 8 x 18 cm)
<b>Weight</b>	approx. 1.1 lbs (approx. 0.5 kg)

<sup>1</sup>10 consecutive measurements on white tile <sup>2</sup>average on 12 BCRA II tiles

<sup>3</sup>Gloss Unit